Библиографический список

I. Соколовский Г.А., Гнесин В.И. Нестационарные трансзвуковые и вязкие течения в турбомашинах. - Киев: Наук. думка, 1986. - 260 с.

2. Гнесин В.И., Солодов В.Г. Влияние неоднородности потока в камере отбора и в выхлопном патрубке на нестационарные характеристики турбинной ступени //Теплоэнергетика. - 1988. - № 4. - С. 22-26.

3. Гнесин В.И., Солодов В.Г. Аэродинамическое взаимодействие двух турбинных ступеней с промежуточным отбором рабочего тела //Тез. докл. XI Всесоюз. конф. по аэроупругости турбомашин, Ужгород, сент. 1987 г. - Киев: ИПП АН УССР, 1987. - С. 6-7.

4. Лапин Н.В., Марченко Ю.А. Организация отборов пара в проточной части и их влияние на экономичность ступеней //Тр. ЦКТИ.-1981. - Вып. 184. - С. 106-112.

5. Прокопенко А.Г., Лазаренко А.В., Палийчук А.С. и др. Исследование полей давления в камере ступени регенеративного отбора паровой турбины //Теплоэнергетика.—1969. - № 5. - С. 41-43.

6. Гоголев И.Г., Перевезенцев В.Т., Осипов А.В. и др. Исследование пространственной структуры потока в камере отбора теплофикационной паровой турбины //Теплоэнергетика. - 1979. - № 3. - С. 48-51.

УДК 629.7.036.017.1

Н.И.Епишев, В.П.Кажаев

ВЕРОЯТНОСТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ МНОЖЕСТВЕННЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГТД ПО ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

В работе рассматриваются неисправности проточной части ГТД и излагаются основы метода разделения неисправных узлов - компрессоров, турбин, камеры сгорания. Метод основан на вероятностном разделении неисправностей в пространстве признаков, которыми являются отклонения измеряемых параметров. Необходимость вероятностного распознавания обуславливается погрешностью измерения. Количественные оценки погрешностей используются наряду с отклонениями измеряемых параметров.

Предлагаемый метод предназначен для оценки состояния узлов проточной части двигателя при длительных испытаниях, а также для оценки изменения характеристик узлов и двигателя в целом при доводочных работах. Метод позволяет определить отклонение параметров состояния узлов проточной части от их эталонных (среднестатистических) значений. При этом дается количественная оценка вероятности изменения различных сочетаний параметров состояния.

В основу метода положена линейная математическая модель, отражающая взаимосвязь параметров состояния с термогазодинамическими параметрами, часть которых является измеряемыми. В качестве отклонений параметров состояния узлов проточной части приняты изменения следующих характеристик /I/: для компрессоров - КПД и напорных, для турбин - КПД и пропускной способности.

Математическая модель представлена в виде системы линейных уравнений

$$\delta y_j = \sum_{\ell=1}^{N} a_{j\ell}\,\delta x_\ell \qquad (j=\overline{1,m}), \tag{I}$$

где δy_j - относительное отклонение j -го измеряемого параметра;

δx_ℓ - относительное изменение ℓ -го параметра состояния;

m - количество измеряемых параметров;

N - количество параметров состояния, характеризующих проточную часть.

Исходная система уравнений (I) напрямую не решается, так как $m < N$. Поэтому задача решается последовательным перебором параметров состояния $(\ell = 1, q)$, где q - количество параметров состояния, характеризующих неисправность (q = 2...6).

В качестве исходной информации используются комплекс $Y^* = (\delta y_1^*, \ldots, \delta y_m^*)$ относительных отклонений измеряемых термогазодинамических параметров от базы и числовые характеристики точности их измерения

$$\delta y^* = \{\delta n_{КВД},\ \delta n_{КСД},\ \delta T^*_{ТНД},\ \ldots\};$$
$$\sigma_{\delta y^*} = \{\sigma_{\delta n_{КВД}},\ \sigma_{\delta n_{КСД}},\ \sigma_{\delta T^*_{ТНД}},\ \ldots\}, \tag{2}$$

где $\delta n_{КВД}, \delta n_{КСД}, \delta T^*_{ТНД}$ - соответственно относительные отклонения от базовых значений частот вращения роторов КВД, КСД и температуры газа за турбиной НД;

$\sigma_{\delta y^*}$; $\sigma_{\delta n_{квд}}$ – среднеквадратические погрешности вышеперечисленных величин;

$*$ означает конкретную реализацию отклонений.

Задача диагностирования состоит в определении принадлежности комплекса Y^* к области в пространстве признаков состояния, ограниченной системой векторов δx_ℓ $(\ell=\overline{1,q})$. Вследствие погрешностей измерения ее нужно решать в вероятностном аспекте

$$P(Y^*/D_i)=\frac{1}{(2\pi)^{m/2}\prod_{j=1}^{m}\sigma_{\delta y_j^*}}\int_{V_i} e^{-\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m}[\delta y_j-\delta y_j^*]^2}dV_i\,, \tag{3}$$

где $P(Y^*/D_i)$ – вероятность появления комплекса Y^* при диагнозе D_i (при появлении i-й неисправности);

V_i – элемент пространства признаков состояния, соответствующий возможному изменению параметров состояния при i -й неисправности;

$\sum_{j=1}^{m}[\delta y_j-\delta y_j^*]^2$ – абсолютная величина вектора YY^*.

Так как интеграл выражения (3) вычислить нельзя, проведем замены:

$$\delta z_j=\frac{\delta y_j}{\sigma_{\delta y_j^*}};\quad \delta z_j^*=\frac{\delta y_j^*}{\sigma_{\delta y_j^*}};\quad b_{je}=\frac{a_{je}}{\sigma_{\delta y_j}}\,. \tag{4}$$

Вектор $\overline{zz^*}$ можно представить в виде суммы

$$\overline{zz^*}=\overline{z^0z}+\overline{z^*z^0},$$

где $z^0=\{\delta z_1^0,\dots,\delta z_m^0\}$ – наиболее вероятные значения нормированных в долях σ признаков состояния, которые определяются методом наименьших квадратов.

Длина вектора zz^* равна

$$|zz^*|=\sum_{j=1}^{m}(\delta z_j-\delta z_j^*)^2=\sum_{j=1}^{m}(\delta z_j^0-\delta z_j^*)^2+\sum_{j=1}^{m}(\delta z_j-\delta z_j^0)^2. \tag{5}$$

Учитывая (4) и (5) и переходя к новым переменным интегрирования, выражение (3) преобразуем к виду

$$P(z^*/D_i)=AL\int\limits_{B_1}^{C_1}\ldots\int\limits_{B_q}^{C_q} e^{-\frac{1}{2}\sum\limits_{j=1}^{m}(\delta z_j-\delta z_j^o)^2} d(\delta x_1)\ldots d(\delta x_q), \tag{6}$$

где $$A=\frac{1}{(2\pi)^{\frac{m}{2}}}e^{-\frac{1}{2}\sum\limits_{j=1}^{m}(\delta z_j^o-\delta z_j^*)^2};$$

B_ℓ, C_ℓ – минимальные и максимальные пределы изменения параметров состояния δx_ℓ;

L – величина якобиана перехода от переменной интегрирования dV_i к $d(\delta x_\ell)$.

Якобиан преобразования представляет собой векторно-скалярное произведение векторов δx_ℓ и численно равен абсолютной величине определителя Грама:

$$L=\sqrt{\Gamma},$$

где $$\Gamma=\begin{vmatrix}(\delta x_1,\delta x_1)\cdots(\delta x_1,\delta x_q)\\ \cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\\ (\delta x_q,\delta x_1)\cdots(\delta x_q,\delta x_q)\end{vmatrix}$$ – определитель Грама.

При приведении степени подынтегрального выражения к квадратичной форме и переходе к новым переменным интегрирования X_ℓ выражение (6) будет соответствовать уравнению

$$P(z^*/D_i)=G\int\limits_{M_1(B_1-\delta x_1^o)}^{M_1(C_1-\delta x_1^o)}\ldots\int\limits_{M_q(B_q-\delta x_q^o)}^{M_q(C_q-\delta x_q^o)} e^{-\frac{1}{2}F}dX_1\ldots dX_q, \tag{7}$$

где $$G=\frac{AL}{M_1M_2\ldots M_q};$$

$$M_\ell=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}b_{j\ell}^2};\quad X_\ell=M_\ell(\delta x_\ell-\delta x_\ell^o);$$

F – квадратичная форма, которая определяется уравнением

$$F=N_{11}X_1^2+2N_{12}X_1X_2+\ldots+2N_{1q}X_1X_q+\ldots+N_{qq}X_q^2; \tag{8}$$

$$N_{\ell k} = \frac{\sum_{j=1}^{m} b_{j\ell}\, b_{jk}}{M_\ell M_k} \qquad (\ell = \overline{1,q}\,;\; k = \overline{1,q}\,).$$

Для вычисления интеграла выражения (7) квадратичную форму (8) приводим методом Лангража к каноническому виду

$$F = \tilde{X}_1^2 + \tilde{X}_2^2 + \ldots + \tilde{X}_q^2 ,$$

где

$$\tilde{X}_\ell = \sum_{k=1}^{q} \alpha_{\ell k} X_k \,;$$

$\alpha_{\ell,k}$ – коэффициенты приведения квадратичной формы к каноническому виду.

Переход к главным осям рассеивания и замена переменных интегрирования преобразует уравнение (7) в соотношение

$$P(z^*/D_i) = GJ \int_{H_1}^{R_1} \ldots \int_{H_q}^{R_q} e^{-\frac{1}{2}[\tilde{X}_1^2 + \tilde{X}_2^2 + \ldots + \tilde{X}_q^2]}\, d\tilde{X}_1 \ldots d\tilde{X}_q , \qquad (9)$$

где

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial X_1}{\partial \tilde{X}_1} & \ldots & \frac{\partial X_1}{\partial \tilde{X}_q} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial X_q}{\partial \tilde{X}_1} & \ldots & \frac{\partial X_q}{\partial \tilde{X}_q} \end{vmatrix}$$ – якобиан преобразования квадратичной формы к каноническому виду;

H_ℓ, R_ℓ – верхние и нижние границы q -мерного искаженного параллелепипеда в пространстве главных осей рассеивания $\tilde{X}_\ell$, которые являются функциями $\tilde{X}_\ell$:

$$H_\ell = f(\tilde{X}_\ell)\,, \quad R_\ell = f(\tilde{X}_\ell)\,.$$

Интеграл выражения (9) вычисляется численным методом с использованием таблиц Лапласа. Окончательный диагноз ставится по обобщенной формуле Байеса /2/ с учетом того, что появление всех дефектов равновероятно:

$$P(D_i/z^*) = \frac{P(z^*/D_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(z^*/D_i)}\,.$$

Итак, представленный метод позволяет определять неисправности, характеризующиеся различным сочетанием и количеством параметров состояния, что увеличивает его достоверность. Описанная методика реализована на ЭВМ типа СМ-4.

Библиографический список

1. Жуков К.А., Кочуров В.А., Селезнев С.Я. Некоторые вопросы диагностирования ГТД при эксплуатации по состоянию //Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб.науч.тр. /Куйбыш. авиац. ин-т. - Куйбышев, 1986. - С. 50-55.

2. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1987. - 240 с.

УДК 629.7.054-762

А.Е.Жуковский, О.П.Мулюкин

СНИЖЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРАКТАХ ДЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ ХОДОМ КЛАПАННЫХ УСТРОЙСТВ

Одной из важнейших задач, возникающих при создании двигателей летательных аппаратов (ДЛА), является обеспечение определенного качества динамических процессов, протекающих в элементах гидравлического тракта двигателя. Характер переходного процесса и закон изменения во времени режима подачи топлива во многом определяются работой агрегатов системы управления двигателем.

Пневмогидравлические тракты систем ДЛА характеризуются широкой разветвленностью и протяженностью, наличием в них большого числа исполнительных органов, среди которых значительная часть приходится на клапанные устройства (КУ). Последовательность работы КУ, скорость их открытия и закрытия, характер изменения гидравлического сопротивления и герметичность запорных пар являются факторами, определяющими качество переходного процесса в двигателе.

Значительное влияние на величину гидравлического сопротивления оказывают микрорельеф деталей (особенно мягких уплотнений на тарелях