

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДВУХКОНТУРНОГО ДВУХВАЛЬНОГО ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА

Гишваров А.С., Разриндзатуву Ж.С.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, jules.zaza@bk.ru

Ключевые слова: параметрическая диагностика, двухвальный двухконтурный авиационный двигатель, нейро-сетевая модель, моделирование рабочего процесса.

Среди неисправностей и отказов авиационных двигателей значительную часть составляют параметрические отказы, заключающиеся в несоответствии значений контролируемых параметров двигателя нормам технических условий. Для контроля и предотвращения подобных отказов используются параметрические методы диагностики состояния, базирующиеся на специальной обработке и анализе термогазодинамических и других параметров, контролируемых на работающем двигателе [1].

В работе [1] было показано, что диагностика, основанная на НС-моделировании рабочего процесса, имеет преимущество перед другими методами [1]. Эффективность параметрической диагностики зависит от типа двигателя и других факторов. Поиск оптимальной структуры НС-модели диагностической модели является сложной проблемой, которая в значительной степени решается на основе опыта и интуиции исследователя.

В данной статье рассматриваются особенности параметрической диагностики авиационного турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) с применением НС-моделирования рабочего процесса. Такая модель описывает связь между контролируемыми параметрами ТРДД (температурой воздуха ($T_{кнд}^*$, $T_{квд}^*$) за компрессором низкого (КНД) и высокого (КВД) давлений, давлением за КНД ($P_{кнд}$), расходом топлива (G_T), температурой газа ($T_{тнд}^*$, $T_{твд}^*$) за турбиной низкого (ТНД) и высокого (ТВД) давлений) и параметрами состояния его узлов (коэффициентами полезного действия КНД и КВД ($\eta_{кнд}^*$, $\eta_{квд}^*$), коэффициентом восстановления полного давления в камере сгорания (КС) ($\sigma_{кс}$), коэффициентами полезного действия ТВД и ТНД ($\eta_{твд}^*$, $\eta_{тнд}^*$)). Параметры состояния узлов двигателя ($\eta_{кнд}^*$, $\eta_{квд}^*$, $\sigma_{кс}$, $\eta_{твд}^*$, $\eta_{тнд}^*$) представляют собой критерии подобия (интегральные критерии), которые позволяют с высокой степенью достоверности определять состояние узлов ТРДД. Такой анализ позволяет выявлять дефекты на ранней стадии их развития, даже если значения контролируемых параметров ($T_{кнд}^*$, $T_{квд}^*$, $P_{кнд}$, G_T , $T_{твд}^*$, $T_{тнд}^*$) находятся в допустимых пределах.

В работе приведена последовательность разработки диагностической НС-модели на основе моделирования рабочего процесса, а также результаты исследования её эффективности при параметрической диагностике ТРДД.

Эффективность диагностики рассматривалась с учётом следующих факторов:

- типа и количества НС-моделей, с применением которых проводилась диагностика ТРДД;
- объёма обучающей и тестовой выборок для построения диагностической модели;
- количества и сочетания контролируемых параметров состояния ТРДД;
- количества диагностируемых параметров узлов ТРДД;
- стратегии создания прогнозируемых моделей в НС-модели;
- количества нейронов в скрытом и в выходном слоях НС-модели;
- вида функции активации (ФА) в скрытом и в выходном слоях модели;
- настройки программного обеспечения STATISTICA, с применением которого формировались диагностические модели.

Оценка погрешности диагностики i -го узла ТРДД (δ_i) и погрешность оценки ТРДД в целом (δ_Σ) проводилась по формулам (1), что показано в работе [1]:

$$\delta_i = \frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^{K_i} \frac{1}{m} \sum_{\varepsilon=1}^m \frac{|X_{i,j,d,\varepsilon} - X_{i,j,nc,\varepsilon}|}{X_{i,j,d,\varepsilon}} \times 100, \%; \delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^z \frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^{K_i} \frac{1}{m} \sum_{\varepsilon=1}^m \frac{|X_{i,j,d,\varepsilon} - X_{i,j,nc,\varepsilon}|}{X_{i,j,d,\varepsilon}} \times 100, \%, \quad (1)$$

где z – количество узлов ТРДД ($z=5$; КНД, КВД, КС, ТВД, ТНД); K_i – количество рассматриваемых состояний i -го узла ТРДД ($i=1,5$); m – количество параметров состояния ТРДД ($m=5$; $\eta_{\text{кнд}}^*$, $\eta_{\text{квд}}^*$, $\sigma_{\text{кс}}$, $\eta_{\text{твд}}^*$, $\eta_{\text{тнд}}^*$); $X_{i,j,d,\varepsilon}$ – значение ε -го параметра, характеризующего дефектное состояние i -го узла ТРДД; $X_{i,j,nc,\varepsilon}$ – значение ε -го параметра, характеризующего дефектное состояние i -го узла ТРДД, определенное по диагностической НС-модели.

Значение $\Delta X_{i,j,d}$ (отклонение параметра состояния i -го узла ТРДД от его значения, соответствующего бездефектному состоянию) варьировалось в интервале $[0...-5]\%$, внутри которого выбирались $N_{\Sigma} = 7700$ значений дефектного состояния узлов ТРДД.

Моделирование дефектов узлов проводилось в интервале:

$$X_{1,1,0} = \eta_{\text{кнд}}^* = [0,81...0,85]; \quad X_{2,1,0} = \eta_{\text{квд}}^* = [0,80...0,84]; \quad X_{3,1,0} = \sigma_{\text{кс}} = [0,91...0,95]; \\ X_{4,1,0} = \eta_{\text{твд}}^* = [0,83...0,87]; \quad X_{5,1,0} = \eta_{\text{тнд}}^* = [0,82...0,86].$$

Бездефектное состояние узлов ТРДД соответствовало следующим значениям $X_{i,j,0}$:

$$X_{1,1,0} = \eta_{\text{кнд}}^* = 0,85; \quad X_{2,1,0} = \eta_{\text{квд}}^* = 0,84; \quad X_{3,1,0} = \sigma_{\text{кс}} = 0,95; \quad X_{4,1,0} = \eta_{\text{твд}}^* = 0,87; \quad X_{5,1,0} = \eta_{\text{тнд}}^* = 0,86.$$

Сравнение эффективности различных видов диагностической модели ТРДД, построенных при различных настройках программного обеспечения (ПО) STATISTICA с эффективностью диагностической модели, построенной с применением стандартных настроек (настройки «по умолчанию»), показало, что при оптимальных рекомендованных значениях настроек ПО погрешность диагностики ТРДД (δ_{Σ}) уменьшается в 3 раза.

Список литературы

1. Gishvarov A.S., Raherinjatovo J.C. Parametric Diagnostic State of Gas Turbine Power Plant, Scopus, Procedia Engineering 206 (2017), pp. 1819–1824.

Сведения об авторах

Гишваров Анас Саидович, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: надежность, ресурс, испытания и прогнозирование состояний технических систем.

Раэриндзатуву Жульен Селестин, аспирант. Область научных интересов: диагностика и прогнозирование состояния технических систем.

PARAMETRIC DIAGNOSTICS OF A TWO-CIRCUIT TWO-SHAFT TURBOJET ENGINE BASED ON , NEURAL NETWORK MODELING OF THE WORKING PROCESS

Gishvarov A.S., Raherinjatovo J.C.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia, jules.zaza@bk.ru

Keywords: parametric diagnostics, two-shaft turbojet aircraft engine, neural network model, modeling of the workflow.

Among the malfunctions and failures of aircraft engines, a significant part is made up of parametric failures, which consist in the discrepancy between the values of the monitored parameters of the engine.