УДК 658.588:622.691.4.052.012

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ТУРБОПРИВОДОМ

PROCEDURE OF PARAMETRIC DIAGNOSTICS OF GAS PUMPING UNITS WITH TURBINE DRIVE

С. И. Перевощиков
S. I. Perevoschikov

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: газоперекачивающие агрегаты; турбопривод; параметрическая диагностика
Key words: gas pumping units; turbine drive; parametric diagnostics

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) являются неотъемлемой частью современных газотранспортных систем, и от их состояния во многом зависит надежность и эффективность работы последних. Это предопределяет повышенное внимание к техническому состоянию агрегатов, в первую очередь к агрегатам с приводом от газотурбинных установок (ГТУ), составляющих большую часть парка ГПА.

Надлежащее состояние ГПА поддерживается различными способами, в том числе с помощью диагностики и своевременной коррекцией последующей эксплуатации объектов диагностирования.

Из существующих методов диагностики наибольшей привлекательностью обладает диагностика по показаниям штатных приборов оборудования, как менее затратная и более оперативная.

Усовершенствованию параметрической диагностики посвящен целый ряд работ, в том числе исследования, результаты которых представлены в публикациях [1–6]. На их основе разработана соответствующая методика, базирующаяся на показаниях штатных приборов агрегатов в их минимальной комплектации. Эта методика позволяет осуществлять двухуровневую диагностику. Первый уровень предназначен для определения технического состояния основных составляющих ГПА (нагнетателей и ГТУ) в целом. При удовлетворительных результатах диагностики первого уровня им ограничиваются. В противном случае, для выявления причин ухудшения состояния наиболее сложного по составу элемента ГПА (их ГТУ) прибегают к диагностике второго уровня. Последняя позволяет диагностировать состояние ГТУ более детально — по их осевым компрессорам, газовым турбинам и камерам сгорания.

Содержание рассматриваемой методики раскрывается на примере ее использования применительно к агрегату ГТК-10-4.

Автором была поставлена задача определить техническое состояние ГПА типа ГТК-10-4 методами параметрической диагностики.

А. Первый уровень диагностики

1. Формирование блока исходной информации.

В качестве исходных данных используются показания штатных приборов ГПА по следующим параметрам: температура атмосферного воздуха T_1, температура продуктов сгорания перед турбиной высокого давления (ТВД) T_3 и после силовой турбины (СТ) T_4, число оборотов ротора силовой турбины n_c.

Информация по остальным параметрам, присутствующим в аналитических выражениях методики, восполняется расчетным способом на основе формул, приведенных в соответствующих разделах расчета.

К рассмотрению принимаются данные по не менее, чем семи различным режимам работы ГПА, включающим режим, соответствующий номинальной загрузке агрегата по мощности. В качестве критерия подбора исходных данных по режимам работы ГПА используются приведенные обороты ротора силовой турбины ГТУ $\bar{n}_{\text{с пр}}$, которые для номинального режима работы ГПА равны «единице».

$$\bar{n}_{\text{с пр}} = \frac{n_{\text{c}}}{n_{\text{co}}} \cdot \sqrt{\frac{T_{10}}{T_1}}, \qquad (1)$$

где $n_с$ — число оборотов ротора силовой турбины ГТУ, 1/мин; T_1 — температура атмосферного воздуха, К; индекс «0» — обозначение значений параметров, относящихся к номинальному режиму работы ГПА.

2. Расчет значений диагностических параметров для каждого режима работы ГПА:

а) для нагнетателя — значений политропического КПД

$$\eta_{пол} = \eta_{пол\,о} \cdot \frac{Z_{н1}}{Z_{н10}} \cdot \frac{\ln\left(\frac{T_{н20}}{T_{н10}}\right)}{ln\varepsilon_{н0}} \cdot \frac{ln\varepsilon_{н}}{\ln\left(\frac{T_{н2}}{T_{н1}}\right)}; \tag{2}$$

б) для ГТУ — значений приведенной эффективной мощности ГТУ $\bar{N}_{епр}$

$$\bar{N}_{епр} = \frac{N_e}{N_{eo}} \cdot \sqrt{\frac{T_{10}}{T_1}} \cdot \frac{P_{10}}{P_1}; \tag{3}$$

значений эффективного КПД ГТУ η_e

$$\eta_e = \frac{N_e}{q_т \cdot \theta_{Н}^{P}}, \tag{4}$$

где

$$N_e = n_c \cdot q_{п}^2 \cdot T_4 \cdot \left[A \cdot \frac{n_c}{q_{п} \cdot T_4} + B \cdot \left(\frac{Z_4 \cdot T_4}{Z_3'' \cdot T_3''}\right)^{\frac{1}{n-1}} - a \right]; \tag{5}$$

$\varepsilon_{н}$ — степень сжатия нагнетателя; $Z_{н1}$ — коэффициент сжимаемости газа при условиях на входе в нагнетатель; $T_{н1}$ и $T_{н2}$ — температуры газа на входе и выходе нагнетателя, К; P_1 — давление атмосферного воздуха (в расчетах принималось $P_1 = P_{10}$), Н/м^2; N_e — эффективная мощность ГТУ, Вт; $q_{п}$ и $q_{т}$ — расход продуктов сгорания и топливного газа ГТУ, кг/с и м^3/с; $\theta_{Н}^{P}$ — низшая теплотворная способность топливного газа ГТУ, Н·м/м^3; T_3'' — эффективное значение температуры продуктов сгорания перед силовой турбиной ГТУ, К; Z_3'' и Z_4 — коэффициент сжимаемости продуктов сгорания ГТУ в условиях на входе и выходе силовой турбины; A, B и a — постоянные для данной ГТУ величины, значения которых для различных ГТУ приведены в [2–4]; $\frac{1}{n-1}$ — комплексный показатель политропы расширения продуктов сгорания в турбоблоке ГТУ;

$$\frac{1}{n-1} = \frac{ln(\sigma_{тро}\varepsilon_{око})}{ln\left(\frac{Z_{3о} \cdot T_{3о}}{Z_{4о} \cdot T_{4о}}\right)} - 1;$$

где $\sigma_{тр}$ — коэффициент, учитывающий потери давления в газовоздушных трактах между осевым компрессором и турбоблоком ГТУ; $\varepsilon_{ок}$ — степень сжатия осевого компрессора; Z_3 — коэффициент сжимаемости продуктов сгорания ГТУ в условиях перед ТВД; индекс «0» — обозначение значений параметров, относящихся к номинальному режиму работы ГПА.

При отсутствии для рассматриваемых ГТУ сведений по $\sigma_{тро}$, руководствуясь данными [7], можно принимать $\sigma_{тро}$ = 0,96. Значения коэффициентов сжимаемости, согласно результатам анализа физических характеристик продуктов сгорания в условиях ГТУ, можно принимать в следующих размерах: $Z_{3о} = Z_3 = Z_3'' = 1{,}0$; $Z_{4о} = Z_4 = 1{,}00$.

Значения температуры T_3'' и расхода $q_{п}$ рассчитываются по одной из формул [4–5] в настоящих расчетах, в частности по зависимостям (6) и (7):

$$T_3'' = \frac{T_4}{\{1 - \bar{K}_n \cdot n_c^2 \cdot [1 - K_n \cdot n_c]^{n/(n-1)}\}}, \tag{6}$$

где $$K_n = \left(1 - \frac{T_{40}}{T_{30}''}\right) \cdot \frac{1}{n_{c0}}; \quad \bar{K}_n = K_n \cdot \left(\frac{T_{30}''}{T_{40}}\right)^{n/(n-1)} \cdot \frac{1}{n_{c0}};$$

$$T''_{30} = \frac{N_{e0}}{q_{\text{п}0} \cdot C_{p\text{п}0}} + T_{40};$$

$$q_{\text{п}} = K_q \cdot \bar{T} \cdot \Delta\,, \tag{7}$$

где Δ зависит от соотношения параметров $\bar{T}$ и $\bar{T}_0$:

$$\bar{T} = \left[\frac{P_1}{T_1} \cdot \left(1 - \frac{T_4}{T''_3}\right) \cdot \left(\frac{T''_3}{T_4}\right)^{\frac{n}{n-1}}\right]^{0,5};$$

$$\bar{T}_0 = \left[\frac{P_{10}}{T_{10}} \cdot \left(1 - \frac{T_{40}}{T''_{30}}\right) \cdot \left(\frac{T''_{30}}{T_{40}}\right)^{\frac{n}{n-1}}\right]^{0,5};$$

при $\bar{T} \le \bar{T}_0$

$$\Delta = 1 + \xi \cdot (\bar{T}_0 - \bar{T})^{0,5}, \text{ где } \xi = 0{,}2040 \cdot \frac{T_{30}}{T_{40}} - 0{,}2257\,;$$

при $\bar{T} \ge \bar{T}_0$ $\quad \Delta = 1;$

$$K_q = \left[q^2_{\text{по}} \cdot \frac{T_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{\left(\frac{T_{40}}{T''_{30}}\right)^{\frac{n}{n-1}}}{\left(1 - \frac{T_{40}}{T''_{30}}\right)}\right]^{0,5}.$$

Значения расхода $q_{\text{т}}$ находились косвенным путем на основе (7) и обобщенных характеристик ГТУ [8].

3. Расчет значений аргументов диагностических параметров для каждого режима работы ГПА:

а) для нагнетателя — значений параметра χ

$$\chi = \frac{ln\varepsilon_{\text{н}}}{ln\left(\frac{T_{\text{н}2}}{T_{\text{н}1}}\right)}; \tag{8}$$

б) для диагностических параметров ГТУ — значений $\bar{n}_{\text{с пр}}$ по (1).

4. Формирование первичных функциональных рядов для каждого диагностического параметра. Рассчитанные значения диагностических параметров и определяющих аргументов вносятся в соответствующие таблицы, представляющие первичные функциональные ряды.

5. Формирование конечных функциональных рядов.

5.1. Данные первичных функциональных рядов наносятся на координатные поля:

- для нагнетателя — вида $\eta_{\text{пол}} - f(\chi)$;
- для ГТУ — вида $\bar{N}_{e\text{ пр}} - f(\bar{n}_{\text{с пр}})$ и $\eta_e - f(\bar{n}_{\text{с пр}})$.

5.2. Наблюдаемая на координатных полях ситуация анализируется на наличие «выскакивающих» значений диагностических параметров, то есть значений, не вписывающихся в общую ситуацию. Обнаруженные «выскакивающие» значения из дальнейшего рассмотрения исключаются, как возможно содержащие грубые и систематические ошибки.

Пример наличия «выскакивающих» значений, возможно содержащих грубые и систематические ошибки, приведен на рис. 1, где «выскакивающим» является одно значение с абсциссой, близкой к 1 и с ординатой, близкой к 0,8.

6. Определение эталонных значений диагностических параметров и ключевых значений аргументов, определяющих оценочные значения диагностических параметров.

6.1. За эталонные значения диагностических параметров принимаются:

- для нагнетателя — паспортный политропический КПД машины $\eta_{\text{пол п}} = 0{,}850$;
- для ГТУ — $\bar{N}_{\text{е пр}} = 1$ и паспортный эффективный КПД $\eta_{\text{ео}} = 0{,}29$.

6.2. За ключевые значения аргументов диагностических параметров принимаются:

- для нагнетателей — величина χ, рассчитанная по (8) на основе паспортных данных для номинального режима работы нагнетателя и равная $\chi_0 = 3{,}61$;
- для ГТУ — $\bar{n}_{с\ пр} = 1$.

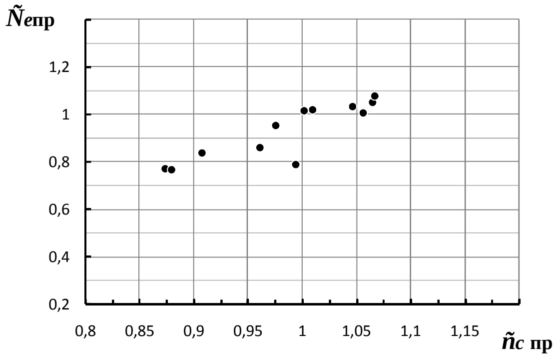


Рис. 1. ***Анализ данных первичного функционального ряда по $\bar{N}_{e\ пр}$***

7. Выбор вида аппроксимирующих функций.

Для нагнетателя в качестве аппроксимирующей функции принимается линейная зависимость; для ГТУ — функции, соответствующие конфигурациям, образованным данными на координатных полях, в затруднительных случаях — линейная функция.

8. Аппроксимирование данных конечных функциональных рядов и определение оценочных значений диагностических параметров. Аппроксимирование производится с использованием программного продукта Microsoft Office Excel.

Оценочные значения диагностических параметров находятся по аппроксимирующим зависимостям: для нагнетателя — при $\chi = \chi_0 = 3{,}61$; для ГТУ — при $\bar{n}_{с\ пр} = 1$.

Результаты аппроксимирования рассматриваемых конечных функциональных рядов представлены на рис. 2–4, определенные по аппроксимирующим зависимостям оценочные значения диагностических параметров — в табл. 1.

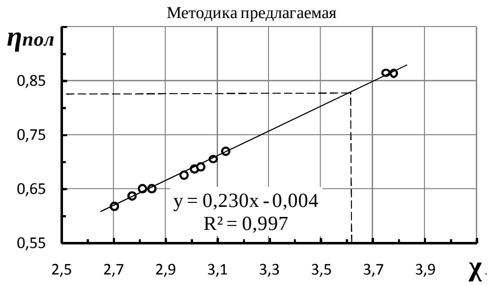
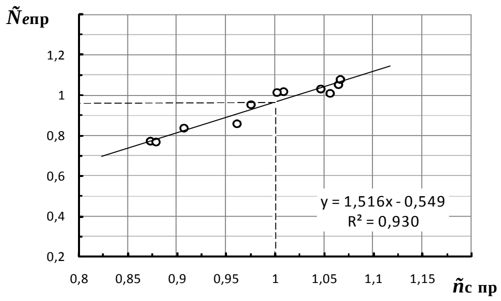


Рис. 2. ***Результаты аппроксимирования данных ряда $\eta_{пол} - f(\chi)$***



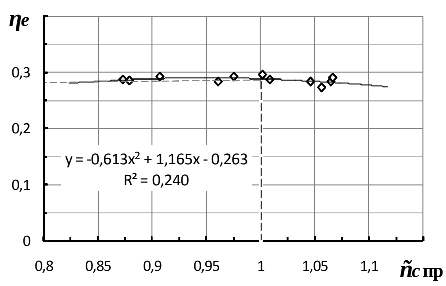


Рис. 3. ***Результаты аппроксимирования данных ряда $\bar{N}_{e\ пр} - f(\bar{n}_{c\ пр})$***

Рис. 4. ***Результаты аппроксимирования данных ряда $\eta_e - f(\bar{n}_{c\ пр})$***

9. Формирование диагностического вывода.

Диагностический вывод выносится по результатам сравнения полученных оценочных значений диагностических параметров с их эталонными аналогами: для нагнетателей — по значению $\eta_{пол}$ при $\chi = \chi_0 = 3{,}61$ с эталонным (паспортным) значением $\eta_{пол\ п} = 0{,}850$; для ГТУ — по значениям $\bar{N}_{е\ пр}$ и $\eta_е$ при $\bar{n}_{с\ пр} = 1$ и сопоставлению их с эталонными значениями, определенными в п. 6.

Такие сравнения и последующие за ними диагностические выводы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты первого уровня параметрической диагностики ГТК -10-4

Наименование	Центробежный нагнетатель	Газотурбинная установка	
	Диагностический параметр		
	$\eta_{пол}$	$\bar{N}_{eпр}$	η_e
Оценочное значение	0,8263	0,967	0,289
Эталонное значение	0,850	1,000	0,29
Диагностический вывод	Техническое состояние ухудшено	Техническое состояние ухудшено	Техническое состояние без изменений
Достоверность вывода	0,997	0,930	0,240

10. Анализ результатов первого уровня диагностики.

Анализу подлежат только данные по $\eta_{пол}$ и $\bar{N}_{eпр}$, результаты диагностики по η_e анализу не подвергаются в связи с их низкой достоверностью.

10.1. В целом состояние ГПА определяется как ухудшенное: по нагнетателю с вероятностью 0,997 — на 2,79 %; по ГТУ с вероятностью 0,930 — на 3,3 % .

Зарегистрированное снижение политропического КПД нагнетателя находится в пределах, вызываемых естественным физическим износом машин, и не представляет опасности для оборудования и эксплуатационного персонала. Уменьшение развиваемой ГТУ мощности также не велико и существенно меньше минимального нормативного значения на 15 %, по достижении которого агрегат необходимо выводить в ремонт.

10.2. Данные табл. 1 приводят к следующим заключениям:

1. Существующее техническое состояние ГПА можно считать удовлетворительным, и агрегат пригодным для его дальнейшей эксплуатации.

2. Требуется выявить причину ухудшения технического состояния ГТУ.

Б. Второй уровень диагностики

Последовательность действий второго уровня диагностики аналогична подобным на первом уровне. В качестве диагностических параметров второго уровня используются значения КПД основных составляющих ГТУ: осевого компрессора (ОК) $\eta_к$, турбоблока в целом $\eta_т$, силовой турбины (СТ) $\eta_с$, турбины высокого давления (ТВД) $\eta_в$ и камеры сгорания (КС) ГТУ $\eta_{КС}$, а аргумент рассматриваемых функциональных рядов — единый для всех рядов параметр $\bar{n}_{с\ пр}$.

Значения отмеченных КПД рассчитываются по формулам (9)–(13) для каждого принятого в первом уровне диагностирования режима работы ГПА.

$$\eta_к = 3{,}419 \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{\left(\frac{n}{n-1}\right)_Т \cdot (T_3 - T_3'')}; \tag{9}$$

$$\eta_т = \frac{4{,}0313 \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right)_Т \cdot (T_3'' - T_4)}{(1{,}01 \cdot T_3 - \cdot T_4)} + \frac{0{,}2886 \cdot \left(\frac{n}{n-1}\right)_К \cdot (1{,}014 \cdot T_2 - \cdot T_1)}{(1{,}01 \cdot T_3 - \cdot T_4)} \cdot \frac{T_3 - T_3''}{T_2 - T_1}; \tag{10}$$

$$\eta_{с} = \frac{4{,}0313 \cdot (T_3'' - T_4)}{\left(\frac{n}{n-1}\right)_{Т} \cdot (1{,}01 \cdot T_3'' - T_4)}; \tag{11}$$

$$\eta_{в} = 0{,}99 \cdot \frac{(1{,}01 \cdot T_3 - T_4) \cdot \eta_{т} - (1{,}01 \cdot T_3'' - T_4) \cdot \eta_{с}}{(T_3 - T_3'')}; \tag{12}$$

$$\eta_{КС} = \frac{q_{п} \cdot C_{pКС} \cdot (T_3 - T_2')}{q_{т} \cdot \theta_{н}^{р}}, \tag{13}$$

где T_2 — температура воздуха после осевого компрессора, К; T_2' — температура (К) продуктов сгорания перед камерой сгорания, определяемая по зависимости (14)

$$T_2' = T_2 + \mu \cdot (T_4 - T_2), \tag{14}$$

где μ — коэффициент рекуперации тепла отработанных газов ГТУ в рекуператорах агрегата (при отсутствии рекуператоров μ = 0); $C_{pКС}$ — теплоемкость газовой смеси в условиях камеры сгорания, Н·м/(кг·К); $\left(\frac{n}{n-1}\right)_{Т}$ — комплексный показатель политропы расширения продуктов сгорания в турбоблоке ГТУ; $\left(\frac{n}{n-1}\right)_{К}$ — комплексный показатель политропы сжатия воздуха в осевом компрессоре

$$\left(\frac{n}{n-1}\right)_{Т} = \frac{ln(\sigma_{тро}\varepsilon_{око})}{ln\left(\frac{Z_{3о} \cdot T_{3о}}{Z_{4о} \cdot T_{4о}}\right)}; \quad \left(\frac{n}{n-1}\right)_{К} = \frac{ln\varepsilon_{око}}{ln\left(\frac{T_{20}}{T_{10}}\right)}.$$

На основе зависимостей (1) и (9)–(13) формируются конечные функциональные ряды вида $\eta_{т} - f(\bar{n}_{с\,пр})$, $\eta_{к} - f(\bar{n}_{с\,пр})$, $\eta_{в} - f(\bar{n}_{с\,пр})$, $\eta_{с} - f(\bar{n}_{с\,пр})$ и $\eta_{КС} - f(\bar{n}_{с\,пр})$, и получаются соответствующие аппроксимирующие зависимости, по которым при $\bar{n}_{с\,пр}$ = 1 находятся оценочные значения соответствующих диагностических показателей (рис. 5–9).

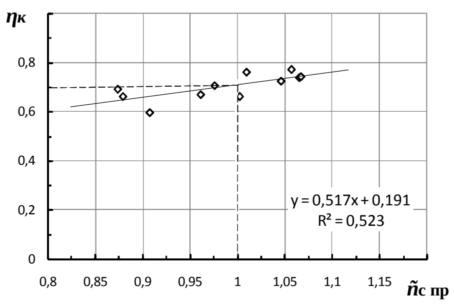


Рис. 5. ***Результаты аппроксимирования данных ряда*** $\boldsymbol{\eta_{к} - f(\tilde{n}_{с\,пр})}$

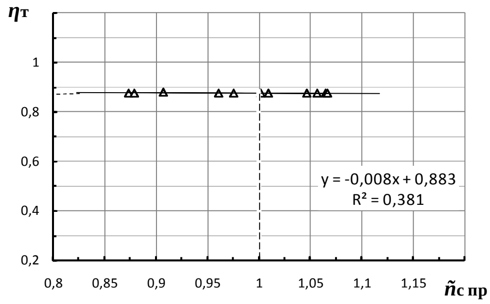


Рис. 6. ***Результаты аппроксимирования данных ряда*** $\boldsymbol{\eta_{Т} - f(\tilde{n}_{с\,пр})}$

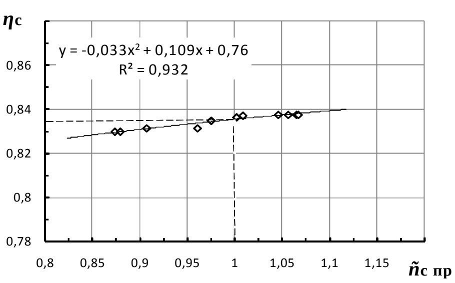


Рис.7. ***Результаты аппроксимирования данных ряда*** $\boldsymbol{\eta_{с} - f(\tilde{n}_{с\,пр})}$

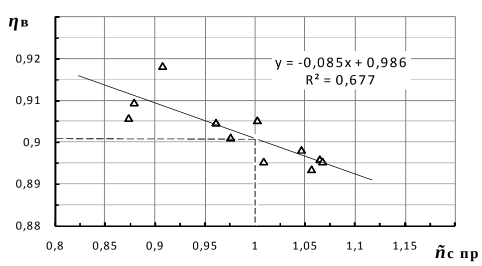


Рис. 8. ***Результаты аппроксимирования данных ряда*** $\boldsymbol{\eta_{в} - f(\tilde{n}_{с\,пр})}$

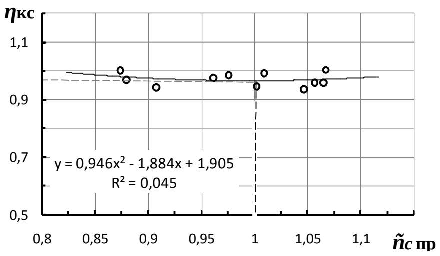


Рис. 9. ***Результаты аппроксимирования данных ряда*** $\boldsymbol{\eta_{кс} - f(\tilde{\pi}_{c\ пр})}$

Оценочные значения сравниваются с эталонными, в качестве которых используются номинальные КПД основных составляющих ГТУ, рассчитанные по (9)–(13) с использованием паспортных данных по номинальному режиму работы ГТУ:

$$\eta_{ко} = 0{,}728;\ \eta_{то} = 0{,}876;\ \eta_{со} = 0{,}838;$$

$$\eta_{во} = 0{,}898;\ \eta_{КСО} = 0{,}968.$$

Оценочные и эталонные значения сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты второго уровня параметрической диагностики ГТК -10-4

Наименование	Диагностический параметр				
	компрессорный блок	газотурбинный блок			камеры сгорания
		в целом	СТ	ТВД	
	$\eta_к$	$\eta_т$	$\eta_с$	$\eta_в$	$\eta_{КС}$
Текущее значение	0,708	0,875	0,836	0,901	0,967
Эталонное значение	0,728	0,876	0,838	0,898	0,968
Диагностический вывод	состояние ухудшено	состояние ухудшено	состояние ухудшено	состояние без изменений	состояние ухудшено
Достоверность диагностического вывода	0,523	0,381	0,932	0,677	0,045

Из анализа данных табл. 2 делаем заключение.

1. Достоверность диагностирования по большинству параметров неудовлетворительная, особенно по камере сгорания и турбоблоку в целом.

2. Располагаемые данные (с невысокой вероятностью) указывают на то, что снижение мощности ГТУ вызывается главным образом ухудшением технического состояния осевого компрессора.

Общие выводы по результатам диагностики

Ухудшение технического состояния агрегата не связано с нарушениями в его конструктивных элементах и не представляет опасности как для агрегата, так и для эксплуатационного персонала. При этом наблюдается снижение КПД нагнетателя и мощности ГТУ. Мощность ГТУ снижена на 3,3 %, что в 4÷5 раз меньше нормативного снижения на 15 %, при котором ГПА необходимо выводить в ремонт, в частности — в средний ремонт. Все отмеченное позволяет сделать следующие выводы по диагностике агрегата:

1. Агрегат имеет удовлетворительное техническое состояние и может находиться в дальнейшей эксплуатации.

2. Ухудшение технического состояния ГТУ возможно вызвано засорением осевого компрессора ГТУ, что требует проверки посредством очистки компрессора и повторной его диагностики.

3. Остаточный ресурс агрегата до очередного ремонта равен ориентировочно трехчетырех кратной предшествующей наработке ГПА после его последнего ремонта. Для уточнения ресурса требуется еще минимум две диагностики с периодичностью 0,1÷0,2 средней наработки подобных ГПА на отказ в отрасли.

4. Вид предстоящего ремонта — средний ремонт.

5. Требуется оценка экономической целесообразности эксплуатации ГПА с пониженным КПД его нагнетателя.

6. Для повышения достоверности диагностических выводов следует:

- дооснастить агрегат средствами измерения расхода топливного газа;

- организовать измерение барометрического давления;
- использовать при диагностике большее количество исходных данных;
- производить расчеты $\eta_т$ и $\eta_в$ не на основе $\eta_к$, $\eta_т$ и $\eta_с$, полученных по данным для единичных режимов работы ГПА, а по значениям $\eta_к$, $\eta_т$ и $\eta_с$, рассчитанным по соответствующим аппроксимирующим зависимостям.

Представленная методика базируется на «привязке» каждого значения диагностического параметра ГПА к условиям его получения. Это придает параметрической диагностике качественно новый вид. Он заключается в переходе от оперирования единичными значениями диагностических параметров к действиям с их упорядоченным числом, образующим функциональный ряд вида «диагностический параметр – определяющие его факторы», что создает основу для выполнения диагностики с широким использованием инструментов теории вероятности.

Применение положений теории вероятности при обработке диагностических данных позволяет:

а) обходиться ограниченным количеством исходных данных;

б) осуществлять диагностирование по показаниям штатных приборов агрегатов;

в) формулировать диагностические выводы с указанием их достоверности;

г) «управлять» достоверностью диагностирования с количественным определением последней, используя в качестве средств «управления»:

- изменение количества принимаемых в расчет режимов работы ГПА;
- внесение в исходные данные режимов работы объектов диагностирования, соответствующих номинальной загрузке оборудования по мощности;
- расширение диапазона принимаемых в расчет режимов работы агрегатов;
- подбор аппроксимирующих функций с учетом физических особенностей рассматриваемых явлений.

Оперирование не «единичными» значениями диагностических параметров, а их упорядоченным количеством в виде функциональных рядов «диагностический параметр – определяющие его факторы» позволяет получать диагностическую ситуацию в развернутом виде. Это создает дополнительные диагностические признаки и дает возможность не только судить о состоянии оборудования, но и выносить предварительные суждения о причинах выявленного состояния. Примеры, раскрывающие такие возможности, не приводятся в связи с ограниченностью объема статьи.

Список литературы

1. Перевощиков С. И. Параметрическая диагностика технического состояния центробежных нагнетателей природного газа // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2011.– № 3 – С. 97-104.
2. Перевощиков С. И. Диагностика газотурбинных двигателей по их эффективной мощности // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014.– № 3 – С. 112-121.
3. Перевощиков С. И. Развернутая диагностика технического состояния газотурбинных двигателей по их эффективной мощности // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 5 – С. 92-98.
4. Перевощиков С. И. Параметрическая диагностика газотурбинных двигателей в условиях ограниченности исходной информации // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 4. – С. 124-131.
5. Перевощиков С. И. Расчет эффективной температуры продуктов сгорания перед силовыми турбинами газотурбинных двигателей // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 1. – С. 100-106.
6. Перевощиков С. И. Дифференциальная диагностика газотурбинных установок по их основным составляющим // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 2. – С. 107-115.
7. Ревзин Б. С., Ларионов И. Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. Справочное пособие. – М.: Недра, 1991. – 303 с.
8. Волков М. М., Михеев А. Л., Конев А. А. Справочник работника газовой промышленности. – М.: Недра, 1989. – 287 с.

Сведения об авторе

***Перевощиков Сергей Иванович**, д. т. н., консультант кафедры «Прикладная механика», Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)467480*

Information about the author

***Perevoschikov S. I.,** Doctor of Engineering, consultant of the chair «Applied mechanics», Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)467480*