

## МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЖАРОВОГО ТРАКТА ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

*О.А. Прояева*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Предлагается новая методика параметрического контроля технического состояния и прогнозирования развития дефектов узлов и деталей жарового тракта газотурбинного двигателя газоперекачивающего агрегата, разработанная с использованием дополнительно введенных диагностических параметров.*

**Ключевые слова:** *параметрический контроль, газотурбинный двигатель, газоперекачивающий агрегат, дефекты, диагностические параметры, диагностирование, прогнозирование, эксплуатация.*

Одним из главных условий устойчивого развития газовой отрасли является обеспечение безопасной, надежной и эффективной эксплуатации оборудования. В газовой промышленности на предприятиях добычи, хранения и транспортировки газа эксплуатируется большое количество газоперекачивающих агрегатов (ГПА), где в качестве приводных двигателей используются газотурбинные двигатели (ГТД).

В настоящее время производители и эксплуатирующие организации стремятся вести эксплуатацию ГТД по их техническому состоянию. Это позволяет снизить стоимость эксплуатации, увеличить межремонтный ресурс, снизить трудозатраты на обслуживание, своевременную постановку на ремонт. В связи с этим большое значение приобретает оснащение агрегатов современными комплексами, позволяющими проводить диагностику технического состояния в процессе их работы, среди которых особое место занимает параметрическая диагностика с современными средствами измерительной и вычислительной техники.

Оценка технического состояния ГПА производится в соответствии со следующим перечнем оперативной, технической, нормативной и руководящей документации по лаборатории контроля технического состояния ГПА [1-2]. Учитывая, что средняя погрешность используемых методик определения мощностных параметров ( $\pm 3$ ) % в диапазоне загрузки ГПА ( $60 \div 100$ ) %, изменение мощности агрегата на ( $\pm 300$ ) кВт не является однозначным признаком появления какой-либо неисправности. Для количественной оценки изменения технического состояния жарового тракта проточной части двигателя необходимо внедрение новых диагностических методик, которые основаны на введении дополнительных диагностических параметров, учитывающих характеристики отдельных узлов и определяющих техническое состояние данного узла оборудования.

В методику проведения параметрического контроля технического состояния привода ГПА предлагается ввести два дополнительных диагностических параметра:  $T_{СТпр}$  – приведенную температуру газов перед силовой турбиной (СТ) и  $Y'$  – скорость изменения отклонений приведенной температуры газов перед силовой турбиной

---

*Ольга Александровна Прояева, аспирант, каф. информационно-измерительной техники.*

от базовой – установочной характеристики (установочная характеристика – это дроссельная характеристика, снятая после установки нового двигателя в ГПА, его ремонта или промывки). Температура газов перед силовой турбиной  $T_{CT}$  измеряется АСУ МСКУ – мультипроцессорной системы контроля и управления ГПА и по формуле газодинамического подобия приводится математически к стандартным атмосферным условиям (САУ): температура воздуха на входе в двигатель  $T_{BX} = +15^{\circ}\text{C}$ , атмосферное давление  $P_a = 1,0332 \text{ кг/см}^2$  (101,325 кПа). Приведенная температура газов перед силовой турбиной равна

$$T_{CTnp} = (T_{CT} + 273) \cdot \frac{288}{T_{BX}} - 273. \quad (1)$$

Скорость изменения отклонений приведенной температуры газов перед силовой турбиной от установочной характеристики  $Y'$  описывается полиномиальной функцией вида

$$Y' = a^0 + a^1 \cdot X + \dots + a^n \cdot X^n, \quad (2)$$

где  $a^0 \dots a^n$  – силовой коэффициент регрессии;  $n$  – степень полинома;  $X$  – наработка агрегата в часах.

Разработанная методика параметрического контроля технического состояния и прогнозирования развития дефектов узлов и деталей жарового тракта проточной части ГТД включает в себя 5 основных этапов

- снятие базовых дроссельных характеристик (определение входных и выходных термодинамических параметров ГТА, их приведение к САУ);
- определение отклонений термодинамических параметров от установочных характеристик в процессе параметрического обследования;
- контроль соответствия параметров своим предельно-допустимым верхним и нижним значениям;
- полиномиальная аппроксимация снятых базовых дроссельных характеристик и дроссельных характеристик, снятых в процессе параметрического обследования;
- прогнозирование технического состояния жарового тракта проточной части двигателя, позволяющее оценить его работоспособность и определить безопасные сроки эксплуатации двигателя с учетом фактического технического состояния локальных потенциально опасных элементов.

На первом этапе при установке двигателя в ГПА необходимо снятие его дроссельных установочных характеристик, что достигается фиксированием параметров в 4 рабочих режимах ( $P_{OK_{np}}$ ;  $T_{CT_{np}}$ ; КТС;  $Ne_{np}$ ;  $G_{TG_{np}}$ ;  $C_{уд}$ ;  $n_{TK_{np}}$ ; КПД):

$P_{OK_{np}}$  – приведенное давление воздуха за компрессором;

$T_{CT_{np}}$  – приведенная температура перед СТ;

КТС – коэффициент технического состояния;

$Ne_{np}$  – приведенная мощность;

$G_{TG_{np}}$  – приведенный расход топливного газа;

$C_{уд}$  – удельный расход топлива;

$n_{TK_{np}}$  – приведенные обороты турбокомпрессора;

КПД – коэффициент полезного действия.

Характеристики снимаются при изменении числа оборотов турбокомпрессора от минимальных до максимальных с шагом 150-200 об/мин и выдержкой на режимах

15-20 мин. При этом все рассчитываемые выходные термодинамические параметры ГТУ приводятся также по формулам газодинамического подобия к САУ, включая и температуру газов перед силовой турбиной, измеренную АСУ МСКУ (1). Все расчеты ведутся в приведенных величинах. Обработка результатов осуществляется с помощью персональных компьютеров с выдачей протокола периодического обследования ГПА с указанием входных и выходных параметров агрегата.

На следующем этапе вычисляется разность между измеренными (снятыми в ходе параметрического обследования) и приведенными к САУ значениями параметров и их значениями, полученными по базовым характеристикам. Отклонение значений измеренных параметров, приведенных к САУ, от значений данных параметров, полученных по базовым характеристикам, определяется следующим образом:

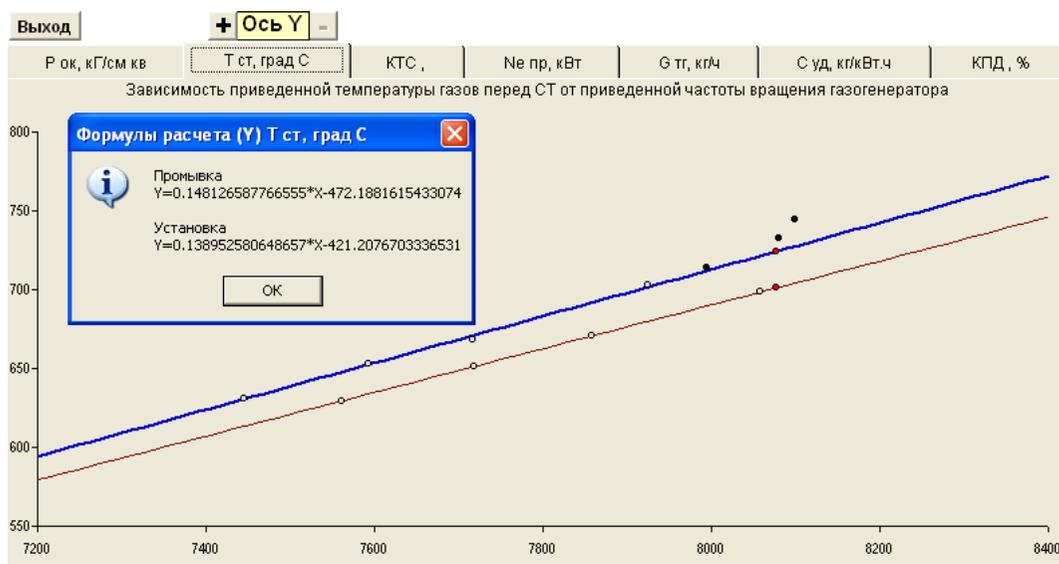
$$\Delta p_{кпр} = p_{кпр} - p_{кбаз}; \Delta T_{стпр} = T_{стпр} - T_{стбаз}; \Delta KTC = KTC - KTC_{баз};$$

$$\Delta N_{епр} = N_{епр} - N_{ебаз}; \Delta G_{тпр} = G_{тпр} - G_{тбаз}; \Delta C_{уд} = C_{уд} - C_{удбаз}; \Delta \eta_e = \eta_e - \eta_{ебаз}.$$

Величины отклонений параметров фиксируются на дроссельных базовых характеристиках.

Третий этап заключается в контроле соответствия параметров своим предельным верхним и нижним значениям, при этом величины допусков уточнялись для каждого типа двигателя в процессе эксплуатации.

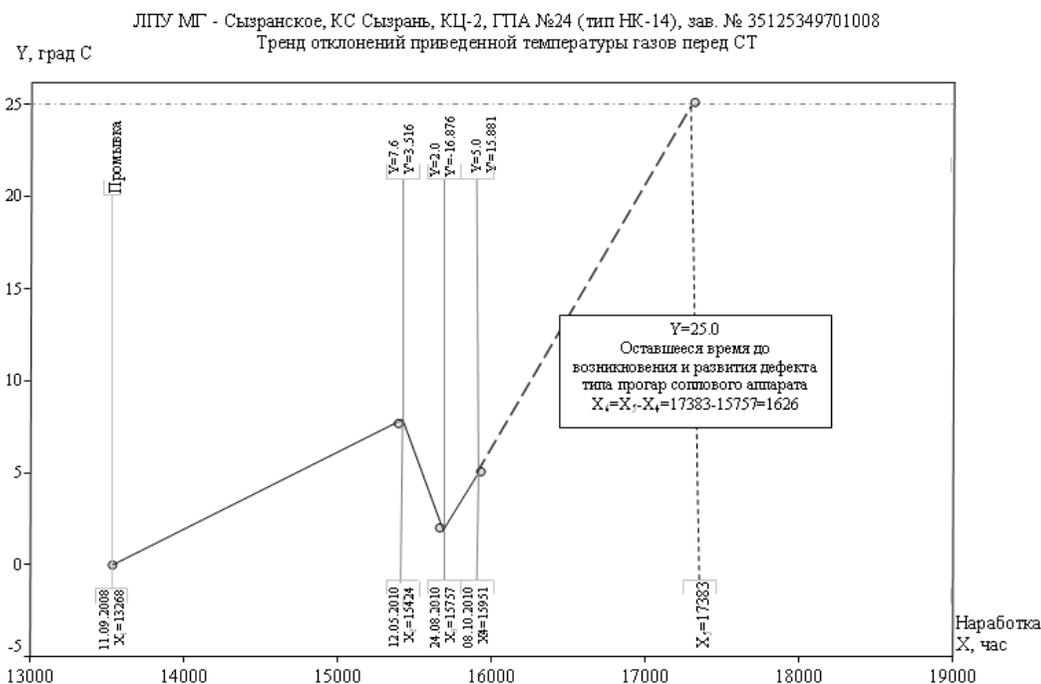
На четвертом этапе проводится полиномиальная аппроксимация снятых базовых дроссельных характеристик и дроссельных характеристик, снятых в процессе параметрического обследования с использованием метода наименьших квадратов (МНК) для определения функциональной зависимости. Реализация данного этапа осуществляется с помощью разработанной автоматизированной системы диагностирования технического состояния жарового тракта ГТД в процессе эксплуатации. Коэффициенты полиномов хранятся в базе данных системы наряду с формулярными параметрами двигателя. Их замена осуществляется после каждого ремонта двигателя или его промывки (рис. 1).



Р и с. 1. Базовая дроссельная характеристика зависимости приведенной температуры газов перед силовой турбиной от приведенной частоты вращения газогенератора, снятой после установки двигателя и его промывки

На пятом этапе осуществляется прогнозирование технического состояния двигателя в процессе эксплуатации путем построения и экстраполяции трендов (зависимостей отклонения приведенных значений термодинамических параметров от базовых характеристик по времени – наработки двигателя).

Прогнозирование технического состояния жарового тракта проточной части двигателя достигается путем построения тренда отклонений приведенной температуры газов перед силовой турбиной по наработке в ходе параметрического обследования; аппроксимации полученных значений, результатом которой является функциональная зависимость данных параметров и их экстраполяция, характеризующая скорость изменения данного параметра по наработке двигателя. Учитывая тенденцию изменения (скорость нарастания  $Y'$ ) отклонений приведенной температуры газов перед силовой турбиной от установочной характеристики и предельно допустимое значение данного параметра в режиме нормальной эксплуатации двигателя, автоматизированная система диагностирования и прогнозирования дефектов жарового тракта ГТД формирует диагностическое сообщение о том, сколько часов по наработке двигатель может находиться в режиме нормальной эксплуатации до зарождения и развития дефекта типа «прогар» соплового аппарата с данной тенденцией ( $Y'$ ) нарастания отклонения приведенной температуры газов перед силовой турбиной (рис. 2).



Примечание:  $Y'$  – скорость изменения отклонений, °С/тыс. час

Р и с. 2. Прогнозирование развития дефекта типа «прогар» соплового аппарата ГТД

Разработанная методика может быть применена для любого типа двигателя, без ограничения по срокам эксплуатации и вне зависимости от предыдущей наработки. Преимущество методики состоит в возможности текущего анализа технического состояния двигателя и ГТУ в целом, а также получения более объемной текущей и прогнозируемой информации о техническом состоянии ГТД ГПА в процессе экс-

плуатации. Это позволяет конкретно оценить остаточный ресурс до возникновения дефекта по наработке газотурбинного двигателя, а также разработать рекомендации по срокам проведения ремонтно-восстановительных работ по причинам возникновения и развития дефектов. Это повышает надежность и безопасность эксплуатации ГТД в составе газоперекачивающих станций, а также приводит к снижению как финансовых, так и временных затрат, связанных с его ремонтом или техническим обслуживанием.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения мощности на вывдном валу двигателя и эффективного КПД двигателя НК-14СТ-10 в условиях ГПА ОАО «СКБМ». – Самара: ОАО «СКБМ», 2004.
2. Методические рекомендации по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов ПР-51-31323949-43-99. – М.: ВНИИ-ГАЗ, 1999.

*Статья поступила в редакцию 2 октября 2011 г.*

### **TECHNIQUE OF THE PARAMETRIC TESTING OF THE TECHNICAL CONDITION AND FORECASTING OF GROWTH DEFECTS IN UNITS AND DETAILS OF THE HEAT PATH OF FLOWING PART OF THE GAS TURBINE ENGINE**

***O.A. Projaeva***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The new technique of the parametric testing of a technical condition and forecasting of the growth defects in units and details of the heat path of the gas turbine engine of the gas swapping unit, developed by using on testing addition entered diagnostic parameters is offered.*

***Keywords:*** *the parametric testing, the gas turbine engine, the gas swapping unit, defects, diagnostic parameters, diagnosing, forecasting, operation.*