

УДК 622.691.4.052

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ РАСПОЛАГАЕМОЙ МОЩНОСТИ ГТУ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПО МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СДВИГА ХАРАКТЕРИСТИК ГТУ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Ванчин А.Г.

*РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва
e-mail: alex_vanchin@mail.ru*

Аннотация. В данной статье предложен экспресс-метод оценки располагаемой мощности газотурбинных установок (ГТУ) и коэффициента технического состояния по мощности на основе определенных закономерностей сдвига характеристик ГТУ при изменении технического состояния. При этом используются индивидуальные заводские стендовые характеристики двигателей, чем обеспечивается более высокая точность проводимых оценок. Детальная проработка метода произведена применительно к газоперекачивающему агрегату (ГПА) типа ГПА-Ц16 с двигателями НК-16СТ. Применение предложенного экспресс-метода даст возможность объективной и оперативной оценки располагаемой мощности и технического состояния ГТУ в составе ГПА, что имеет важное значение для обеспечения должного уровня эффективности работы и надежности газотранспортных систем.

Ключевые слова: диагностика, транспорт природного газа, характеристика газотурбинной установки, техническое состояние, газоперекачивающий агрегат, сдвиг характеристик, располагаемая мощность, экспресс метод диагностики

Описание обнаруженных закономерностей сдвига характеристик

Объективная и оперативная оценка располагаемой мощности и технического состояния газотурбинных установок ГТУ в составе газоперекачивающих агрегатов ГПА имеет важное значение для обеспечения должного уровня эффективности работы и надежности газотранспортных систем.

В основе данного метода лежат закономерности смещения графиков основных параметров работы при изменении технического состояния ГТУ, выявленные при изучении ряда заводских стендовых характеристик газотурбинных установок данного типа.

Стендовые характеристики рассмотрим на примере пяти двигателей. Эти характеристики имеют вид, представленный на рис. 1. Все параметры приведены к стандартным условиям. Эффективный КПД этих двигателей различается при одинаковом значении мощности на 2 - 3 %, например, при мощности 15 МВт минимальный КПД 27 %, а максимальный 29 %

Из представленных характеристик видно, что расслоение графиков имеет неслучайный характер. Если каждый из этих графиков умножить на соответству-

ющую постоянную величину во всем рабочем диапазоне мощности от 13 до 17 МВт, так, чтобы величины соответствующих параметров при мощности, скажем, 14,5 МВт совпали, то эти графики рассматриваемых пяти двигателей практически совпадут. Результаты этой операции представлены на рис. 2.

Графики, сведенные при мощности 14,5 МВт, при мощности 16,5 МВт дают относительные отклонения между максимальным и минимальным значениями по оборотам КНД и КВД 0,002, а по давлению после осевого компрессора и температуре перед силовой турбиной в 0,003. Это означает, что при изменении технического состояния ГТУ графики рассмотренных параметров сдвигаются практически пропорционально.

Метод оценки располагаемой мощности

Использовать обнаруженные закономерности сдвига характеристик ГТУ для оперативной оценки располагаемой мощности газотурбинных установок можно следующим образом.

Исходные заводские характеристики параметров работы ГТУ, можно представить в виде:

$$P_i^{\text{эталон}} = f_i(N_e), \quad i = 1 \dots k, \quad (1)$$

где P_i – параметр работы ГТУ;

N_e – эффективная мощность ГТУ;

k – количество параметров.

Снимается текущий режим ГТУ, при этом определяется эффективная мощность ГПА, и параметры $P_i^{\text{факт}}$ (частоты вращения компрессоров низкого и высокого давлений, давление после осевого компрессора, температура перед силовой турбиной). Указанные параметры приводятся к стандартным условиям с помощью формул приведения. Далее определяются l_i – относительные отклонения этих параметров от соответствующих величин из заводской стендовой характеристики данного двигателя при той же величине мощности.

$$l_i = \frac{P_i^{\text{факт}}}{P_i^{\text{эталон}}}. \quad (2)$$

Новые текущие характеристики данного двигателя определяются путем умножения графиков его заводской стендовой характеристики на соответствующие найденные относительные отклонения этих параметров.

$$P_i^{\text{факт}} = l_i \cdot f_i(N_e). \quad (3)$$

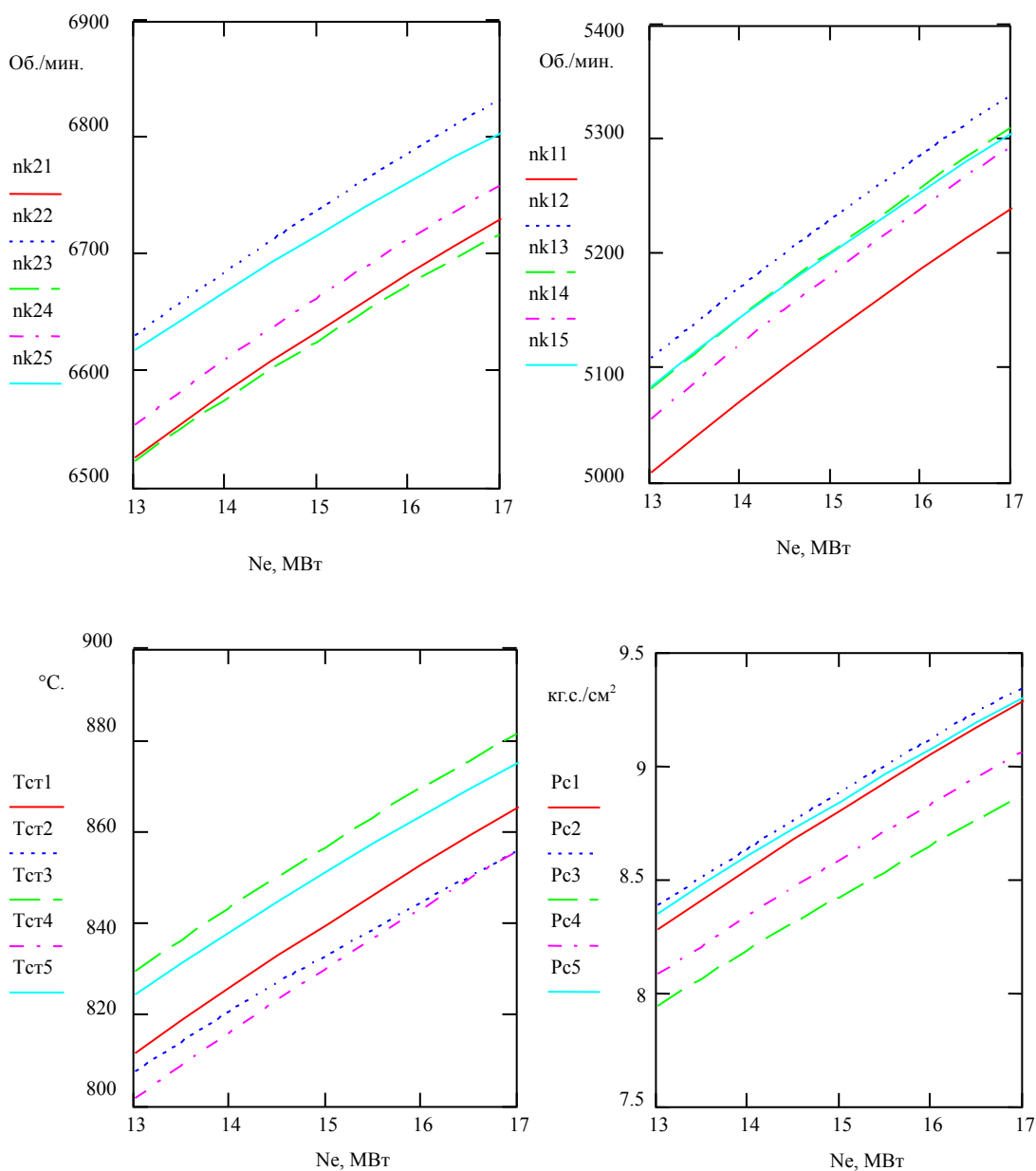


Рис. 1. Стендовые характеристики рассматриваемых пяти двигателей:

nk2 – частота вращения КВД; nk1 – частота вращения КНД;
 Tст – температура после СТ; Pс – давление воздуха после ОК;
 последний индекс – номер агрегата

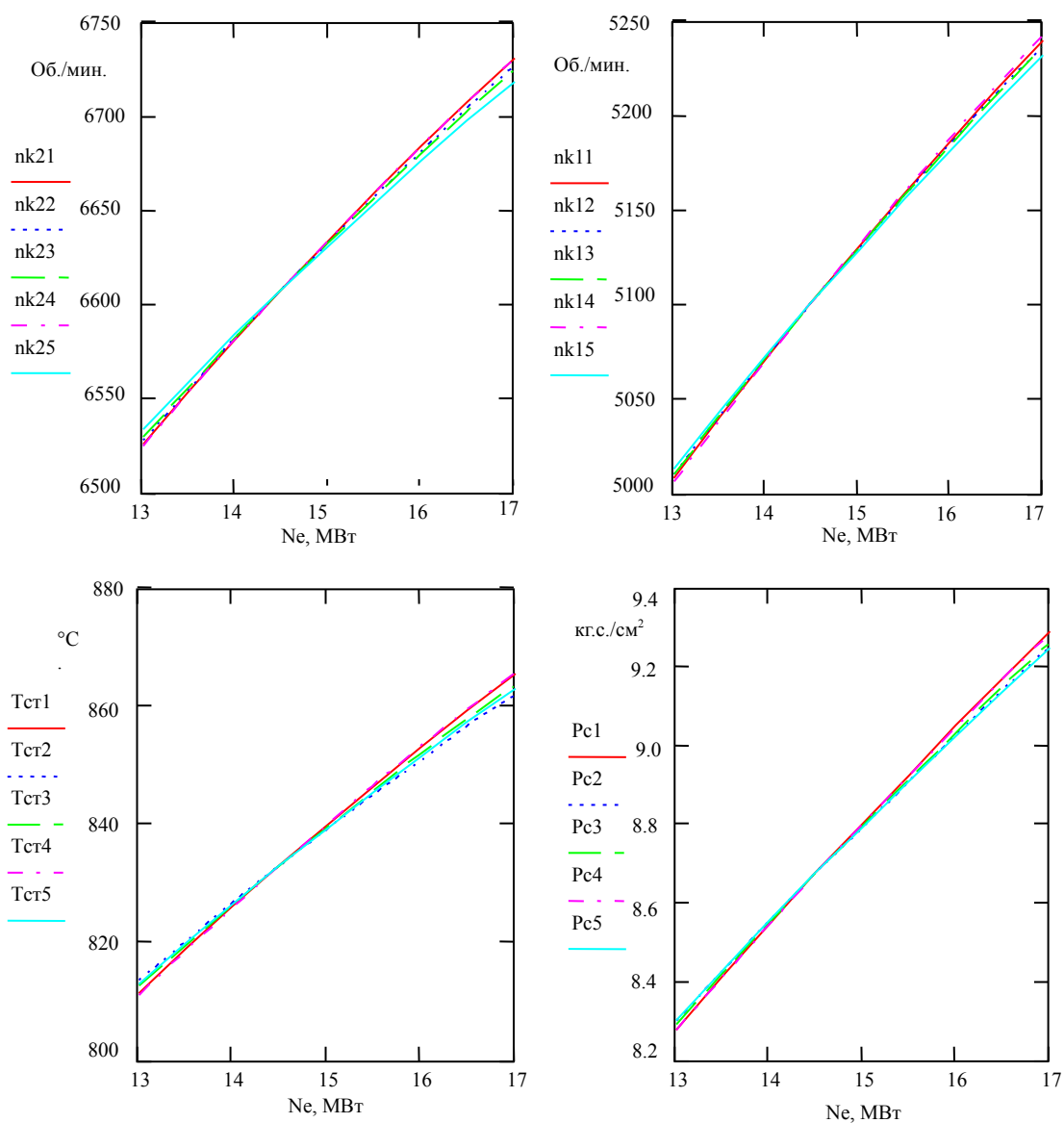


Рис. 2. Стендовые характеристики рассматриваемых пяти двигателей, умноженные на постоянную величину с условием их совпадения при мощности 14,5 МВт:
 nk2 – частота вращения КВД; nk1 – частота вращения КНД;
 Tct – температура после СТ; Pc – давление воздуха после ОК;
 последний индекс – номер агрегата

По полученной текущей характеристике данного двигателя определяется величины приведенной мощности $(N_e^{pacn})_i$ при максимальных уставочных значениях P_i^{ycm} параметров (частот вращения компрессоров низкого и высокого давлений, давления после осевого компрессора, температуры перед силовой турбиной). Основными технологическими ограничениями двигателя НК-16СТ согласно рекомендациям завода-изготовителя являются: частоты вращения компрессоров низкого и высокого давлений $n_{нд} = 5320$ об/мин, $n_{од} = 7100$ об/мин, избыточное давление после осевого компрессора $P_c = 10$ кг/кв см, температура перед силовой турбиной $T_{cm} = 604$ °С. Достижением при работе одной из этих предельных величин и определяется величина располагаемой мощности ГТУ, т.е. максимальной мощности, которую может развить ГТУ при текущих значениях параметров окружающей среды.

$$P_i^{ycm} = l_i \cdot f_i \left((N_e^{pacn})_i \right). \quad (4)$$

Из полученных четырех величин приведенной мощности выбирается минимальная N_e^{pacn} и над нею производится операция обратная приведению. Полученная величина является максимальной мощностью, которую может развить ГТУ при текущих значениях параметров окружающей среды и техническом состоянии, т.е. располагаемой мощностью.

$$N_e^{pacn} = \min \left((N_e^{pacn})_i \right). \quad (5)$$

Метод оценки технического состояния

Обнаруженные закономерности сдвига характеристик ГТУ можно применить для оперативной оценки технического состояния газотурбинных установок следующим образом.

Для оценки состояния ГТУ принято использовать коэффициент технического состояния КТС по мощности.

КТС по мощности представляет отношение фактической мощности ГТУ при номинальных параметрах атмосферного воздуха на входе в ОК и при номинальной температуре перед турбиной к номинальной мощности агрегата по ТУ.

$$K_N = N_e^{факт} / N_e^{ном}. \quad (6)$$

Сложности в применении этого соотношения связаны с использованием только параметров номинального режима. Достижение расчетной температуры газа перед турбиной при работе ГПА не всегда возможно из-за требуемого режима работы компрессорного цеха, к тому же штатные системы САУ ГПА, как правило, не оснащены замером температуры газов перед турбиной по конструктивным соображениям.

Ввиду выше изложенного эксплуатационный персонал в большинстве случаев не имеет достоверной информации о показателях работы ГПА.

Предлагаемый метод определения КТС по мощности, основанный на закономерностях смещения графиков основных параметров работы при изменении технического состояния ГТУ, позволяет избежать указанных сложностей.

Суть метода состоит в следующем. Определяется оценочное значение температуры перед силовой турбиной как величина данного параметра, при которой согласно заводскому протоколу стендовых испытаний данного конкретного двигателя была зафиксирована номинальная мощность этого агрегата:

$$T_{СТ}^{оцен} = f_{СТ}(N_e^{ном}). \quad (7)$$

Определяется с помощью формулы (8) оценочное значение эффективной мощности ГТУ при оценочном значении температуры перед силовой турбиной по полученной фактической характеристике данного двигателя с учетом $l_{СТ}$ – относительного отклонения фактического графика температуры перед СТ от заводского:

$$T_{СТ}^{оцен} = l_{СТ} \cdot f_{СТ}(N_e^{оцен}). \quad (8)$$

КТС по мощности определяется как отношение оценочного значения эффективной мощности ГТУ к номинальной мощности агрегата.

$$K_N = N_e^{оцен} / N_e^{ном}. \quad (9)$$

Выводы

Предложенный в данной статье метод не требует для определения КТС по мощности достижения параметров номинального режима работы ГТУ, прост в использовании, максимально приспособлен к специфике данных, имеющих в распоряжении эксплуатирующего персонала.

Была проведена апробация в компрессорном цехе газопровода «Елец – Курск Кривой Рог» в Курском управлении магистральных газопроводов (ООО «Газпром трансгаз Москва»). Рассчитанные величины располагаемой мощности проверялись реальной дозагрузкой ГПА, при этом проверялась также правильность определения ограничивающего параметра. Вычисленные КТС ГТУ по мощности сравнивались с результатами диагностики ГТУ по эффективному КПД. Результаты проверок положительные.

Литература

1. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: ОАО ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ, 1999. 51 с.
2. Двигатель НК-16СТ. Руководство по технической эксплуатации. Самара: АО КМПО, 1996. 137с.
3. ГОСТ 28775-90. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2005. 12 с.

**A PROXIMATE METHOD FOR ESTIMATION OF GAS-TURBINE PLANT
AVAILABLE POWER AND A TECHNICAL CONDITION FACTOR
ON POWER, LEANING AGAINST LAW OF THE SHIFT OF GAS-TURBINE
PLANT CHARACTERISTICS AT THE CHANGE
OF ITS TECHNICAL CONDITION**

A.G. Vanchin

Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia

e-mail: alex_vanchin@mail.ru

Abstract. *The author has defined laws of the characteristics shift of a gas-turbine plant at change of technical condition and has developed a proximate method of estimation of gas-turbine plant available power and of a technical condition factor on power. The use of individual test-bench characteristics of engines provides the most exact result of the estimation. The method is studied in details on the gas-compressor plant "GCP-TS16" with engines NK-16ST. The objective and operative estimation of available power and of technical condition of a gas-turbine plant as a part of a gas-compressor plant has great value for maintenance of effective and reliable functioning of a gas-transport system.*

Keywords: *diagnostics, natural gas transport, characteristic of a gas-turbine plant, technical condition, gas-compressor plant, shift of characteristics, available power, proximate method of diagnostics*

References

1. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu teplotekhnicheskikh i gazodinamicheskikh raschetov pri ispytaniyakh gazoturbinnnykh gazoperekachivayushchikh agregatov (Procedural guidelines for performing thermotechnical and gasodynamic calculations in the process of testing gas-turbine gas pumping units). Moscow, VNIIGaz, 1999. 51 p.
2. Dvigatel' NK-16ST. Rukovodstvo po tehnicheckoj jekspluatacii (NK-16ST Engine. Technical manual). Samara, AO KMPO, 1996. 137 p.
3. GOST 28775-90. Agregaty gazoperekachivajushhie s gazoturbinnym privodom. Obshhie tehnicheckie uslovija (Gas pumping units driven with gas turbine. General specifications). Moscow, Standartinform, 2005. 12 p.