

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛИЗУЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕСЧЁТА НА НОРМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

© 2018 Д.С. Калабухов, В.А. Григорьев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

TECHNIQUE OF DETERMINATION OF NORMALIZING CONVERSION FACTORS ON THE NORMAL PARAMETERS VALUES OF A POWER PLANT

Kalabukhov D.S., Grigor'ev V.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The necessity of determining the normal parameters values of a gas turbine power plant based on the test results in the prevailing external conditions and operational operating modes is justified. A technique for determining the analytical dependencies of the normalizing conversion factors is developed

Одной из основных целей испытаний газотурбинных энергетических установок (ЭУ) является определение соответствия измеренных основных технических данных (ОТД) двигателя параметрам, заданным в технических условиях (ТУ). В ТУ указываются допуски на величины так называемых нормальных значений параметров (НЗП), соответствующих случаю его испытания в стандартных атмосферных условиях (САУ), когда регулирующие органы находятся в позиции их отладки на заданную для данного режима техническими условиями норму мощности потребителя механической энергии ЭУ [1]. В то же время, испытания серийных двигателей проводятся в сложившихся внешних условиях на обычных эксплуатационных режимах со штатными регуляторами. Это обуславливает необходимость пересчёта измеренных значений величин на нормальные значения параметров с использованием заранее вычисленных специальных коэффициентов для данной серии ЭУ.

Существующие методики прямого и косвенного экспериментального определения коэффициентов пересчёта (КП) [1] предполагают использование большого количества графиков и номограмм для снятия с них приведенных к САУ и нормальных значений параметров. Такие не всегда соответствуют современным требованиям к точности обработки результатов измерений.

В данной работе предложена методика определения КП аналитическим путём на основе обработки результатов прямых изме-

рений ОТД ЭУ в термобарокамере. Определение КП по ней имеет следующую последовательность.

1. Проводится анализ исходного статистического материала на основе результатов испытаний ГТД с имитацией условий эксплуатации на различных высотах $H = 0 \dots 3$ км от уровня моря, при различных температурах T_n и давлениях p_n наружного воздуха и на основных режимах работы по закону $n_{\text{реж}} = \text{const}$ с одновременным изменением нагрузки потребителя $N_{\text{потр}}$ и расхода топлива G_m . Для нахождения КП требуются результаты испытаний на нескольких различных $n_{\text{реж}} = \text{const}$.

2. Выполняют построение поля нагрузочных характеристик по результатам испытаний для нескольких $n_{\text{пр}} = \text{const}$ и определённых значений T_n и p_n . Затем строятся климатические характеристики. При учёте погрешностей измерений характеристики должны строиться с разбросом значений ОТД, т.е. на характеристику наносятся диапазоны их допустимых по ТУ значений.

3. Проводят выбор наиболее рационального плана эксперимента и составляется матрица плана.

4. Выбирают варьируемые факторы, отвечающие требованию независимости: для газотурбинной ЭУ обычно это параметры внешних условий $T_n = T_n^*$ и $p_n = p_n^*$ и режимные параметры $n_{\text{реж}}$ и $N_{\text{потр}}$ (как правило, это мощность генератора $N_{\text{ген}}$).

Далее возможны следующие варианты действий. Если отсутствует возможность

проведения новых высотно-климатических испытаний ЭУ, то значения ОТД ГТД, соответствующие определённым комбинациям варьируемых факторов плана эксперимента, снимаются с построенных дроссельных и климатических характеристик. При наличии такой возможности проводят испытания с созданием кондиционированных условий на входе и выходе из двигателя: подогревают или охлаждают подводимый воздух и создают разрежение в ТБК для имитации высоты.

В ходе выполнения поставленной задачи возникает вопрос о необходимости учёта влияния на ОТД изменения T_n при изменении H для получения обоснованной высотной характеристики. Дело в том, что в плане эксперимента возможны различные комбинации значений p_n и T_n , причём величине давления соответствует определённая высота над уровнем моря, а температура может значительно отличаться от возможной на данной высоте.

Возможны два подхода к построению зависимостей ОТД от внешних условий: с выявлением «чистого» влияния H без него. В первом случае требуется составить блоки матрицы плана для различных $H = \text{const}$, т.е. $p_n = \text{idem}$. В каждом блоке, после измерения параметров в разных условиях по T_n и режиму работы ЭУ необходимо привести их к стандартной для данной высоты T_n . При реализации второго подхода, по сути, определяется климатическая характеристика, а не высотная. В этом случае требуется меньшее число опытов, но меньшей становится и информативность получаемых зависимостей.

5. Измеренные или снятые с характеристик физические значения параметров приводят к САУ с учётом поправок на влияние внешних условий типа $\bar{X}_i = f(T_n, p_n, d, \dots)$, где X_i – одно из ОТД ЭУ. С помощью регрессионного анализа формируют аналитические зависимости вида $X_{\text{пр}} = f(n_{\text{пр}}, N_{\text{пр}})$ или $X_{\text{пр}} = f(n_{\text{пр}}, G_{\text{тпр}})$, по которым определяются НЗП $X_{\text{норм}}$ по заданным $n_{\text{норм}}$ и $G_{\text{тнорм}}$.

6. По известному закону управления данной ЭУ определяют зависимости $G_{\text{треж}}$ (или $N_{\text{реж}}$), $\bar{n}_{\text{реж}}$ от внешних условий для нескольких эксплуатационных значений

T_n и p_n . Затем в формулах для определения $X_{\text{норм}}$ переменные $n_{\text{норм}}$ и $G_{\text{тнорм}}$ умножают на соответствующие поправки на влияние закона управления:

$$\bar{n}_{\text{реж}} \sqrt{\frac{288,16}{T_n^*}}, \quad \bar{G}_{\text{треж}} \frac{101,33}{p_n} \sqrt{\frac{288,16}{T_n^*}}.$$

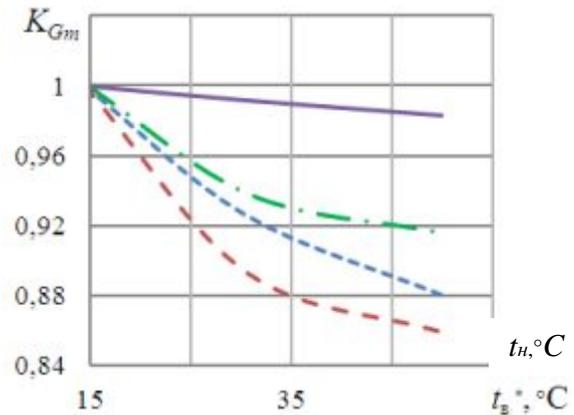


Рис. 1. Коэффициент пересчёта для определения нормального значения расхода топлива в зависимости от t_n и режима работы ($p_n = 101,33$ кПа, $n = 1$)

— $\bar{N} = N/N_{\text{max}} = 1$; — · — $\bar{N} = 0,8$;
- - - $\bar{N} = 0,6$; ····· $\bar{N} = 0,4$

7. С помощью формул приведения формируют выражения для определения ОТД, которые имел бы двигатель при заданных внешних условиях и режиме, например

$$G_{\text{в изм}} = G_{\text{в пр}} \frac{p_n}{101,33} \sqrt{\frac{288,16}{T_n^*}} \frac{1}{\bar{G}_v}.$$

8. Получают аналитические выражения для нахождения КП в виде $K_X = X_{\text{изм}}/X_{\text{норм}} = f(n_{\text{пр}}, N_{\text{пр}}, p_n, T_n)$.

Для визуального отображения полученных зависимостей строят графики. На рис. 1 приведён пример такой зависимости для одной из энергетических установок.

Разработанная методика также может быть использована при отладке закона управления ЭУ для улучшения их ОТД.

Библиографический список

1. Испытания авиационных двигателей: учеб. для вузов. 2-е изд., доп./ под общ. ред. В.А. Григорьева и А.С. Гишварова. М.: ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», 2016. 542 с.