

СПОСОБ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НЕРАВНОМЕРНОГО ПОТОКА НА ВХОДЕ В ВЕНТИЛЯТОР ТРДД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Пестов Д.В.¹, Щербань А.И.¹, Матвеев В.Н.¹

¹Самарский университет, г. Самара, denispestov@list.ru

Ключевые слова: вентилятор, неравномерный поток, численное моделирование.

Неравномерность потока и пульсации его параметров на входе в турбореактивный двухконтурный двигатель (ТРДД) приводят к преждевременному появлению срывов потока с лопаток вентилятора и компрессора, уменьшению запаса газодинамической устойчивости. Поэтому при доводке и сдаче двигателей в эксплуатацию выполняются специальные испытания ТРДД с различным уровнем неравномерности потока на входе в вентилятор для подтверждения устойчивости его работы. При этом различный уровень неравномерности поля параметров на входе в вентилятор обычно обеспечивается с помощью интерцептора на входе двигателя, выдвигаемого в проточную часть на различную высоту.

Для уменьшения количества таких специальных испытаний целесообразно разработать и применять метод численного моделирования рабочего процесса вентилятора совместно с основным компрессором двигателя при неравномерном и нестационарном потоке на его входе. Создание такого метода является довольно сложной задачей, при решении которой необходимо решить ряд подзадач, в частности, следует разработать способ оценки адекватности результатов численного моделирования поля неравномерного потока на входе в вентилятор ТРДД экспериментальным данным.

Исходными данными для этого способа являются следующие параметры на входе в вентилятор: результаты экспериментального (ε) и расчётного (p) определения полей статического ($p_{i\varepsilon}$, p_{ip}) и полного ($p_{i\varepsilon}^*$, p_{ip}^*) давлений, полной температуры ($T_{i\varepsilon}^*$, T_{ip}^*), абсолютной ($c_{i\varepsilon}$, c_{ip}) и приведённой ($\lambda_{i\varepsilon}$, λ_{ip}) скоростей потока; а также предельные относительные погрешности измерения и экспериментального определения перечисленных выше параметров ($\delta p_{i\varepsilon}$, $\delta p_{i\varepsilon}^*$, $\delta T_{i\varepsilon}^*$, $\delta c_{i\varepsilon}$ и $\delta \lambda_{i\varepsilon}$).

Оценку адекватности результатов расчёта экспериментальным данным предлагается проводить в каждой точке измерений с помощью критерия Фишера F . Результаты расчёта считаются адекватными эксперименту в случае, если расчётное значение критерия Фишера F_p не будет превосходить его критического табличного значения F_T [1], то есть, если будет выполняться условие $F_p \leq F_T$ (при доверительной вероятности $P = 0,95$).

Полагая, что расчётное поле каждого интересующего параметра Π_{ji} получено в виде расчётных точек (т.е. p_{ip} , p_{ip}^* , T_{ip}^* , c_{ip} и λ_{ip}) без использования уравнения регрессии, остаточную дисперсию j -ого параметра $\sigma_{\text{ост } j}^2$ [1], обусловленную неадекватностью численной модели, для любой i -ой точки поля параметров можно вычислить по формуле:

$$\sigma_{\text{ост } j}^2 = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^{n_j} (\Pi_{ji\varepsilon} - \Pi_{jip})^2, \quad (1)$$

где n_j – число точек поля параметра Π_j , а индексы ε и p относятся соответственно к экспериментальному и расчётному значению этого параметра.

Остаточной дисперсии $\sigma_{\text{ост } j}^2$, характеризующей разброс результатов расчёта относительно экспериментальных данных, соответствует число степеней свободы $k_{1j} = n_j - 1$.

С учётом выражения (2) расчётное значение критерия Фишера F_p для каждой точки поля параметра Π_j будет равно

$$F_{p_{ji}} = \sigma_{\text{ост } j}^2 / \sigma_{ji\varepsilon}^2, \quad (2)$$

где $\sigma_{ji\varepsilon}$ – среднеквадратическая погрешность экспериментального определения i -ой точки поля параметра Π_j .

Дисперсию $\sigma_{ji\varepsilon}$ можно найти как $\sigma_{ji\varepsilon} = (\Pi_{ji} \delta \Pi_{ji} / 300)^2$, где $\delta \Pi_{ji}$ – предельная относительная погрешность в процентах экспериментального определения значения i -ой точки поля параметра Π_j .

Число степеней свободы k_{2j} , соответствующее дисперсиям $\sigma_{ji\varepsilon}^2$, предлагается принимать равным бесконечности ∞ , так как величины $\sigma_{ji\varepsilon}$ находятся на основании предельных относительных погрешностей экспериментального определения значений параметра Π_j .

Применяя условие равенства значений расчётного и критического табличного критерия Фишера, можно найти наибольшее допустимое отклонение расчётной величины параметра Π_j от соответствующего экспериментального значения.

Для примера, было рассмотрено при установленном интерцепторе характерное поле полного давления $p_{i\varepsilon}^*$, состоящее из 30 практически равномерно расположенных по радиусу и в окружном направлении точек. Табличная величина критерия Фишера при $k_1 = 29$, $k_2 = \infty$ и $P = 0,95$ составляет $F_T = 1,47$. Тогда при наибольшем значении $\delta p_{i\varepsilon}^* = 0,21\%$ допустимое отклонение расчётного полного давления p_{ip}^* от его экспериментальной величины $p_{i\varepsilon}^*$ будет равно 0,25%.

Список литературы

1. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1 [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 336 с.

Сведения об авторах

Пестов Денис Вячеславович, аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачёва. Область научных интересов: газодинамическая устойчивость газотурбинных двигателей.

Щербань А.И., ассистент кафедры теории двигателей летательных аппаратов. Область научных интересов: численное моделирование рабочих процессов лопаточных машин.

Матвеев Валерий Николаевич, д.т.н., профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачёва. Область научных интересов: газодинамика авиационных лопаточных машин.

A METHOD FOR ASSESSING THE ADEQUACY OF THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING OF THE FIELD OF PARAMETERS OF AN UNEVEN FLOW AT THE INLET TO THE FAN OF A TURBOJET TWO – CIRCUIT ENGINE TO EXPERIMENTAL DATA

Pestov D.V.¹, Scherban A.I.¹, Matveev V.N.¹

¹Samara National Research University, Samara, Russia, denispestov@list.ru

Keywords: fan, uneven flow, numerical simulation.

A method has been developed to assess the adequacy of the results of numerical modeling of the field of parameters of an uneven flow. The approbation showed that the usually permissible maximum deviation of the calculated total pressure from its experimental value is 0.25 %.