

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Батурин О.В., Николаладе П., Ткаченко А.Ю., Волкова А.С., Подгорнова А.С.
Самарский университет, г. Самара, oleg.v.baturin@gmail.com

Ключевые слова: неопределенность вычислений, математическая модель, погрешность, валидация, термодинамический расчет, эксперимент, анализ чувствительности.

Используемые сегодня расчетные модели требуют задания однозначных (детерминистических) значений исходных данных для получения решения. Однако в реальности исследователь часто не знает точного значения данной величины. Ему известны результаты их прямого или косвенного измерения, обладающего погрешностью. Осознание факта неизвестности исходных данных может привести к полному переосмыслению процесса расчетных исследований и интерпретации их результатов [1, 2].

В проведенном исследовании авторы создавали стохастическую термодинамическую модель газотурбинного двигателя АИ-25, учитывающую неопределенность исходных данных.

В результате обобщения имеющегося массива результатов экспериментов были найдены наиболее вероятные значения измеренных параметров двигателя. Опираясь на них, была создана детерминистическая термодинамическая модель рабочего процесса двигателя АИ-25 на выбранном режиме работы. Затем был разработан и реализован алгоритм, который трансформировал детерминистическую математическую модель рабочего процесса выполненного двигателя АИ-25 на интересующем режиме работы в стохастическую. Она позволяет, зная разброс нескольких входных параметров, определить разброс значений выходного параметра. Стохастическая модель была построена исходя из предположения, что разброс неопределенных входных данных подчиняется нормальному закону распределения. Несмотря на то, что термодинамическая модель является относительно простой и быстрой, она требует огромного числа обращений к исходной детерминистической расчетной модели, что не позволяет получить стохастические результаты с учетом всех интересующих переменных в разумные сроки.

По этой причине поиск стохастического решения проходил в 2 этапа. На первом проводился анализ чувствительности. В результате исходные данные были ранжированы по степени влияния на конечный результат. Для полученной последовательности было проведено исследование, в котором последовательно проводился расчет разброса удельного расхода топлива для 2, 3, 4, 5, и 6 первых переменных ряда. Разброс значений удельного расхода топлива и других важных выходных параметров на выбранном режиме работы двигателя мало менялся после учета более 5 наиболее влияющих переменных. Полученные данные были трансформированы в колокол бивариантного распределения на графике зависимости интересующего параметра от расхода воздуха. Полученные данные были сопоставлены с аналогичным колоколом, полученным по данным эксперимента.

При традиционном детерминистическом подходе результаты расчета и эксперимента на одном режиме работы являются точками на графике. Их несовпадение вычисляется в виде двух разностей (отклонений) вдоль двух координатных осей. Учитывая, что погрешности определения сравниваемых точек при этом не учитываются, то найденное несовпадение обладает погрешностью, значение которой не известно. Стохастический подход позволяет получить количественное описание несовпадения. Оно представляет собой колокол бивариантного распределения, который описывается двумя параметрами: математическим ожиданием разницы и среднеквадратическим отклонением для двух координатных осей. Полученные результаты представлены на рис.1.

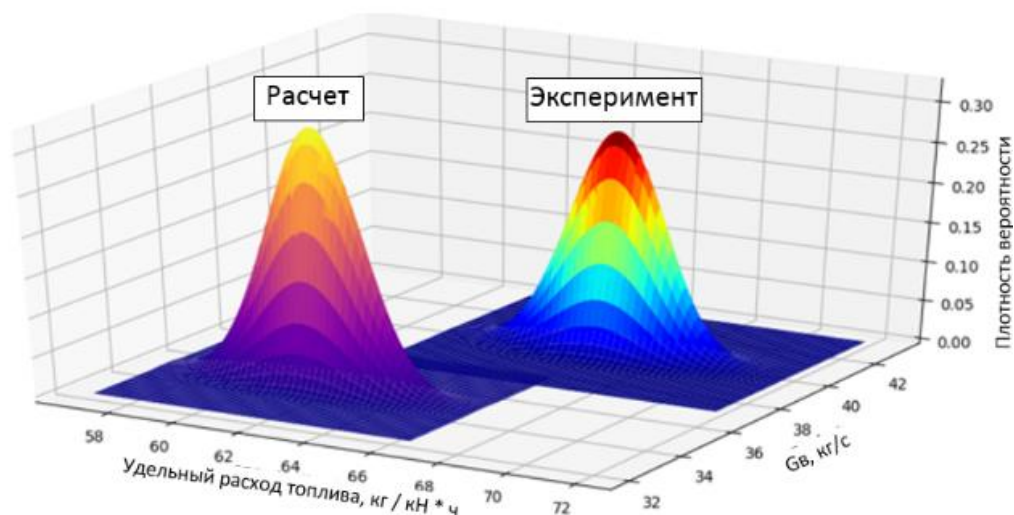


Рис. 1 – Сравнение бивариантных распределений для $C_{уд}$ от суммарного расхода воздуха через двигатель при $P=8,75$ кН, полученные в расчете и эксперименте

Список литературы

1. Salvadori S., Montomoli F., Martelli F. Aerothermal study of the unsteady flow field in a transonic gas turbine with inlet temperature distortions // Journal of Turbomachinery. 2011. № 133(3).
2. Giebmanns A., Schnell R., Steinert W. Analyzing and optimizing geometrically degraded transonic fan blades by means of 2D and 3D simulations and cascade measurements // Proceedings of the ASME Turbo Expo. 2012. Vol. 8. P. 279-288.

Сведения об авторах

Батурин Олег Витальевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Николаладе Пол, магистр. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Ткаченко Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы ГТД, проектирование ГТД.

Волкова Анастасия Сергеевна, студент. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Подгорнова Александра Сергеевна, студент. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

IDENTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A GAS TURBINE ENGINE TAKING INTO ACCOUNT THE UNCERTAINTY OF THE INITIAL DATA

Baturin O.V., Nicolalde P., Tkachenko A.U., Volkova A.S., Podgornova A.S.
Samara National Research University, Samara, Russia, oleg.v.baturin@gmail.com

Keywords: uncertainty of calculations, mathematical model, error, validation, thermodynamic calculation, experiment, sensitivity analysis.

The paper describes the process of obtaining stochastic results of GTE operation process calculation taking the uncertainty of initial data into account. The results are compared with experimental data.