

УДК 621.7

## РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

© **Николалде П., Волкова А.С., Подгорнова А.С., Батулин О.В.**

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: oleg.v.baturin@gmail.com

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 был найден 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 менялись 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, найденное несовпадение обладает погрешностью, значение которой неизвестно. Стохастический подход позволяет дать 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 рисунке.

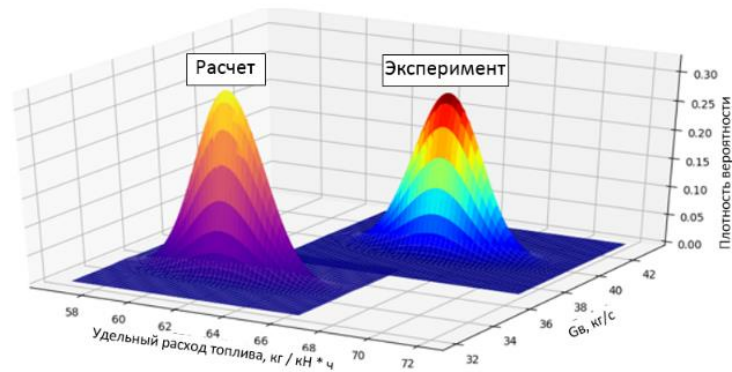


Рис. Сравнение бивариантных распределений для  $C_{уд}$  от суммарного расхода воздуха через двигатель при  $P=8,75$  кН, полученное в расчете и эксперименте

### Библиографический список

1. Salvadori F. Montomoli y F. Martelli. Aerothermal study of the unsteady flow field in a transonic gas turbine with inlet temperature distortions // Journal of Turbomachinery. 2011. № 133 (3).
2. Giebmanns R. Schnell y W. Steinert. 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.