

температурное состояние лопаток в трёхмерной постановке, что соответствует современным требованиям.

Метод состоит из чередования гидравлического и теплового расчётов. Для выполнения гидравлического расчёта используется ANSYS CFX. Система охлаждения лопатки подразделяется на участки с известными уравнениями, определяющими потери давления. Соответственно, геометрическая модель представляет собой сборку, где каждой детали соответствует свой участок.

При составлении расчётной модели, участки описываются как пористые тела с задаваемым законом потерь давления и соединённые интерфейсами. Граничные условия на стенках задаются по гидравлике как

"полное проскальзывание", а по теплообмену в первом приближении (холодная продувка) – "адиабатическое".

Тепловой расчёт выполняется в ANSYS Multiphysics. Расчётная модель строится на базе твёрдотельной модели лопатки. Граничные условия теплоотдачи определяются на основании полученных в результате гидравлического расчёта значений скоростей воздуха и уравнений подобия.

После этого повторяют гидравлический расчёт, задавая граничные условия теплоотдачи и определяя подогрев воздуха. Затем снова повторяют тепловой расчёт. Так поступают до тех пор, пока значения подогрева охлаждающего воздуха не стабилизируются.

УДК 534.629.7.036.3

## **МЕТОД ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АЭРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В КОМПРЕССОРЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

©2016 В.В. Посадов

Научно-производственное объединение «Сатурн», г. Рыбинск

### **DIAGNOSTICS METHOD OF AERODYNAMIC AND AEROELASTIC OSCILLATIONS IN THE GAS TURBINE ENGINE COMPRESSOR**

Posadov V.V. (PJSC "NPO "Saturn", Rybinsk, Russian Federation)

*This research contains analysis of external factors that affects the beginning of aerodynamic and aeroelastic oscillations in compressor of gas turbine engine. Has been developed the flutter and rotating stall diagnostics method. This method is based on frequency response characteristics. Type of oscillations is determined when signal magnitude reaches corresponding threshold (predicted taken into account operating conditions of the engine).*

Актуальность разработки метода вибрационной диагностики аэродинамических (вращающийся срыв) и аэроупругих (флаттер) колебаний в компрессоре при стендовых испытаниях газотурбинных двигателей (ГТД) обусловлена необходимостью своевременной и надёжной их диагностики из-за возникающих при них высоких вибрационных напряжений в деталях и узлах ГТД. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных этой теме, алгоритмы и методы надёжной и своевременной диагностики колебаний реализованы не в полной мере.

Для разработки метода диагностики необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить сравнительный анализ существующих методов прогнозирования и диагностики флаттера;
- провести экспериментальные исследования аэродинамических и аэроупругих колебаний для ГТД различного класса тяги с целью выявления диагностических признаков.

Выполнен анализ состояния проблемы диагностики аэродинамических и аэроупругих колебаний, происходящих в компрессоре низкого давления ГТД, проанализированы

условия их возникновения и особенности проявления. Показана необходимость развития (усовершенствования и создания новых, более эффективных) методов диагностики, в том числе, с элементами прогнозирования, позволяющих определять дальнейшее развитие процесса возникновения опасных колебаний.

Исследование влияния внешних факторов на уровень вибрационных напряжений в лопатках было проведено при испытаниях авиационного ГТД, в процессе которых выполнено определение аэродинамических и прочностных характеристик одного из вариантов вентилятора на различных режимах его работы путём изменения угла раскрытия регулируемого сопла вентилятора. По результатам экспериментальных исследований для различных условий проведения испытаний построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ).

В процессе исследований установлено, что для диагностики целесообразно использовать частотные характеристики сигналов, полученные при различных условиях проведения испытаний. Процесс диагностики представлен как прохождение сигнала через узкополосный следящий фильтр, настроенный на диагностическую частоту флаттера или вращающегося срыва. Выбор и настройка фильтра на диагностическую частоту производились по АЧХ, построенным на основании предварительно проведённых экспериментальных исследований.

Диагностирование аэродинамических и аэроупругих колебаний состоит из двух этапов: расчётного определения их частот и идентификации составляющих на этих частотах в спектре динамического сигнала.

Метод диагностики, основанный на анализе АЧХ, осуществляют следующим образом.

Определяют диагностическую частоту флаттера и вращающегося срыва для ступеней компрессора, в которых возможно их возникновение.

Для различных условий работы ГТД строят АЧХ на диагностических частотах флаттера и вращающегося срыва по заранее полученным данным экспериментальных ис-

следований ГТД. Полученные АЧХ заносят в память системы управления ГТД.

По АЧХ выбирают узкополосные следящие фильтры и настраивают их на диагностические частоты флаттера и вращающегося срыва. Количество фильтров для каждого вида диагностируемых колебаний может определяться количеством диагностических частот по интересующим (как правило, наиболее опасным) формам колебаний.

Измеряют корпусную вибрацию вибропреобразователем, установленным на корпусе ГТД вблизи исследуемой ступени рабочего колеса.

В зависимости от условий работы ГТД выбирают предварительно построенные для флаттера и вращающегося срыва АЧХ, по которым определяют параметр демпфирования, в качестве которого используют, например, логарифмический декремент колебаний.

По выбранным АЧХ и значениям параметров демпфирования определяют пороговые уровни сигналов при флаттере и вращающемся срыве.

При достижении порогового уровня амплитудой сигнала, попадающего в полосу пропускания фильтра, настроенного на диагностическую частоту флаттера или вращающегося срыва, делают вывод о наличии соответствующих колебаний.

На основании метода диагностики аэродинамических и аэроупругих колебаний разработан алгоритм диагностики, реализованный в виде программы. Он позволяет своевременной предупредить возникновение опасной ситуации, связанной с увеличением вибрационных напряжений в деталях компрессора до опасных значений.

В данном методе диагностики реализованы элементы прогнозирования: предсказывая, каким будет следующее значение динамического сигнала на диагностической частоте при флаттере, можно значительно раньше начать изменение режима работы ГТД путём изменения расхода топлива, что позволяет предотвратить развитие аварийной ситуации при возникновении опасных колебаний. Метод исключает постановку ложного диагноза за счёт настройки фильтров на соответствующие диагностические частоты.